



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACIÓN
DEPARTAMENTO DE SISTEMAS DIGITALES Y
TELECOMUNICACIONES

**Procedimientos de Optimización en Redes de Acceso
3G WCDMA/HSPA y su efectividad en Casos de
Estudio en Nicaragua.**

Autores:

Br. Lederman Noel Villarreal Tercero.
Br. Leandro José Pérez Agurcia.

Tutor:

Marvin Sánchez Garache, Ph.D.

Managua, Nicaragua
2015

Dedicatoria

Dedicamos esta tesis monográfica, todo el tiempo y esfuerzo invertido en su culminación, así como los estudios previos que nos llevaron a ella y también los logros que se avecinen, a Dios fuente de gracias y virtudes inagotables, que en su Divina Providencia nos ha concedido terminarla y ver su apoyo en toda la etapa de nuestras vida que representó la escritura de este trabajo.

También dedicamos esta tesis a nuestros padres y a nuestras madres, personas de bien que amorosa y desinteresadamente nos han brindado su apoyo en cada uno de los días y noches que fueron necesarios para completar este escrito.

Asimismo dedicamos este documento a nuestro mentor y tutor, el cual pacientemente nos ha enseñado y guiado a través del proceso requerido para finalizar este trabajo monográfico, haciendo amable uso de su tiempo y conocimientos.

Hacemos uso de esta dedicatoria para expresar nuestro agradecimiento sincero a todos a quienes ha sido dedicada, porque sin su presencia y ayuda no hubiese sido posible la elaboración de esta monografía tal cual es.

Resumen

La tecnología de tercera generación celular de Acceso Múltiple por División de Código de Banda Ancha (WCDMA por sus siglas en inglés) es la tecnología de mayor despliegue a nivel mundial actualmente dado que permite la prestación de servicios de transmisión de voz, datos y video. La calidad de prestación de los servicios se evalúa mediante indicadores de calidad (denominados KPI's por sus siglas en inglés) los cuales deben mantenerse en niveles "óptimos" para satisfacer los requerimientos de servicios de los usuarios y a la vez hacer uso eficiente de la infraestructura de red con un limitado ancho de banda.

En este trabajo monográfico se presentan los procedimientos de optimización de redes 3G necesarios para maximizar los principales indicadores de calidad utilizados para el servicio de voz y para el servicio de transmisión de datos cuando se emplea HSDPA ("High Speed Downlink Packet Access").

Los principales indicadores de Accesibilidad, Retenibilidad y Throughput son presentados asociados con la funcionalidad de red y cada uno de ellos es analizado mediante estudios de casos en redes 3G en operación. Para el análisis y optimización de los casos se utilizaron las herramientas de software Actix Analyzer, Forsk Atoll, Aexio Xeus, Microsoft Excel y Sistema de Soporte de Operación de Ericsson (OSS por sus siglas en Inglés).

Los casos tratados para la optimización del indicador de accesibilidad, muestran los problemas más comunes encontrados en redes en operación, además de las fallas de hardware y terminales, como son: "Pilot Pollution", incorrecta definición de vecinas, Acceso distante y bajos niveles de cobertura.

Similarmente, para el estudio de casos de optimización del indicador de retenibilidad de llamadas se explican los diferentes tipos de "Handover" necesario para entender el manejo de la movilidad, las mediciones de celda y el reporte de eventos que realiza el terminal del Usuario para el traspaso de la llamada de una celda a otra. Basado en la funcionalidad, se exponen los casos de estudios para mejorar el indicador mediante el tratamiento de: incorrecta definición de vecindades, parámetros de IFHO ("Interfrequency Handover") cuando se emplean múltiples frecuencias portadoras, discontinuidad de cobertura, incorrecta asignación de códigos y "Pilot Pollution".

Finalmente, el indicador de calidad para transmisión de datos de mayor importancia para el usuario y para el operador es la velocidad de transmisión o "Throughput" del usuario (o red). Se muestran los principales factores que pueden limitar el Throughput en una red 3G como son: Potencia, Códigos e Interferencia. Las limitaciones de potencia e interferencia producto de pobre planeamiento pueden ser significativas (se muestra en el caso de estudio mejoras del orden del 55%). Así mismo, mediante el uso de múltiples portadoras se mejora de forma significativa el Throughput (con el empleo de dos portadoras se obtuvo una mejora de un 25% de las muestras con mayor Throughput empleando la misma carga).

Abstract

The third generation of Mobile Technology Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA) is the most deployed technology around the world nowadays, since permits the provision of voice, data and video services. The quality of these services are evaluated through Key Performance Indicators (called KPI) which must be on “optimal” levels in order to satisfy the services requirements from users and at the same time make efficient use of network infrastructure with a limited bandwidth.

In this monographic document, the 3G network optimization procedures needed to maximize the principal Key Performance Indicators used for the voice service and the data service when is implemented HSDPA are presented.

The principal indicators presented are Accessibility, Retenibility, and Throughput associated with the network functionality and each one analyzed through study cases in operating 3G Network. For the cases analyze and optimization were used software tools Actix Analyzer, Forsk Atoll, Aexio Xeus, Microsoft Excel and the Operation Support System (OSS).

The cases treatise for optimize the Accessibility indicator, present the common problems found in real networks, besides the hardware and UE failures, like: Pilot Pollution, Missing Neighbors, Distant Access and Poor Coverage due to Low Signal Levels.

Similarly, in the study cases for optimize the Retenibility indicator are explained the different Handover types needed in order to understand the mobility, cell measurement and the event report perform by the UE in order to switch the call from one cell to another. Based in the functionality, are exposed study cases for the indicator improvement by the treating of: Missing neighbors, Wrong IFHO parameter definition (Interfrequency Handover) when is used multiples frequencies, Coverage Discontinuity, Wrong Code Allocation and Pilot Pollution.

Finally, the most important KPI for data transmission for users and operators is Throughput of users (or network). The main factors that can limit throughput in a 3G network as shown such: Power, Codes and Interference. The power limitation and interference product of the poor planning could be significant (is show in the study case improvement about the 55%). Likewise, using multiple carrier the throughput have significant improvement (by using two carrier was obtain a 25% improvement of all the samples with more Throughput using the same load).

Lista de Figuras

Figura 1.1 Vida de una Red.....	6
Figura 1.2 Función de desempeño de una red móvil.....	7
Figura 1.3 Contadores extraídos de la RNC con SQL en Excel.	8
Figura 1.4 Arreglo de Celdas (Arreglo celular)	10
Figura 1.5 Elementos de la red.....	13
Figura 1.6 User equipment. Izquierda Terminal móvil. Derecha Módulo de suscripción de Usuario SIM.....	13
Figura 2.1 Diagrama de flujo de mensajes de señalización en el establecimiento de una llamada en WCDMA.	16
Figura 2.2 Modos de operación del UE y estados en Connected Mode.....	17
Figura 2.3 Ecuación de accesibilidad para voz vista desde software de procesamiento de datos.	23
Figura 2.4 Histórico de Accesibilidad degradado.....	24
Figura 2.5 Histórico de Accesibilidad Óptimo.	24
Figura 2.6 Diagrama de representación de acceso aleatorio.	25
Figura 2.7 Random Access.	25
Figura 2.8 Representación celdas vecinas.....	26
Figura 2.9 Drive test y cuadro de análisis de niveles que indican PP.....	30
Figura 2.10 Predicción de Pilot Pollution en Atoll.	31
Figura 2.11 Estimación de niveles de señal para la zona de interés en Atoll.	31
Figura 2.12 Predicción de RSCP CPICH para una celda determinada. De izquierda a derecha, de arriba hacia abajo. S2 SC: 40; S1 SC: 8; S3 SC: 56; S3 SC: 48	32
Figura 2.13 Predicción de P.P después de ajustes.	33
Figura 2.14 Estimación de niveles de señal para la zona de interés en Atoll después de cambios.....	33
Figura 2.15 Estadísticas generadas por ATOLL de la predicción de EcNo en el área de interés. Izquierda Antes / Derecha Después.	33
Figura 2.16 Muestra de vecindades definidas para un sector en particular. Izquierda: zona de análisis y sector de interés (resaltado). Derecha: Vecindades para el sector y posible celda no definida (encerrada).	34
Figura 2.17 Predicción de interacción de RSCP CPICH entre dos celdas.	35
Figura 2.18 Definición de vecindades en base a predicción de cobertura RSCP CPICH. Izquierda: Predicción RSCP CPICH (Atoll). Derecha: Inclusión de celdas como vecinas definidas (Xeus).....	35
Figura 2.19 Falla de acceso en recorrido de DT. Cobertura por SC y niveles de señal.	36
Figura 2.20 Falla de acceso en recorrido de DT. Cobertura por SC y niveles de señal.	37
Figura 2.21 RSCP CPICH por SC. Izquierda SC: 61. Derecha SC: 27.	37
Figura 2.22 Estadísticas de accesos Sitio S1 SC: 27.....	38

Figura 3.1 Softer Handover (derecha) & Soft Handover (izquierda).	41
Figura 3.2 Informe de eventos 1A y 1B.	45
Figura 3.3 Informe eventos 1C.	46
Figura 3.4 Informe eventos 1D.	47
Figura 3.5 Baja cobertura por incorrecta configuración de HOtype.	50
Figura 3.6 Configuración de hoType en el Sistema.	51
Figura 3.7 Incorrecta asignación de vecinas.	52
Figura 3.8 Gráfica de reportes de medición desde la celda S2_SC:122.	53
Figura 3.9 Discontinuidad de Servicio.	54
Figura 3.10 Incorrecta Asignación de códigos.....	55
Figura 3.11 Evento de caída en un área con Pilot Pollution.	57
Figura 4.1 Bandwidth, Data rate y Throughput a diferentes distancias del NodoB.	60
Figura 4.2 Throughput vs Carga de tráfico.	61
Figura 4.3 Eb/No vs BER en un canal AWGN.	65
Figura 4.4 Intercambio de Canales en WCDMA.....	67
Figura 4.5 Distribución de potencia en celda.....	68
Figura 4.6 Simulación de Throughput por celda para un Sitio con diferentes portadoras.	71
Figura 4.7 Impacto de second carrier en THPT.....	72
Figura 4.8 Interferencia Other-to-own.....	73
Figura 4.9 Simulación Other-to-own despues de cambios.	74
Figura 4.10 Mejora del Throughput tras disminución de la other-to-own interference.....	75
Figura 4.11 Impacto de usuarios en Throughput.	76
Figura 4.12 Ajuste de potencia y other to own interference.....	77

Índice

Dedicatoria	i
Resumen	ii
Abstract	iii
Lista de Figuras	iv
Índice	vi
Introducción	1
Objetivos	3
Objetivo General	3
Objetivos Específicos	3
Justificación	4
Capítulo 1 Introducción a optimización en redes 3G UMTS	5
Capítulo 2 Accesibilidad	15
2.1 Introducción	15
2.2 Estados de servicio en RRC	17
2.3 Contadores Estadísticos	21
2.4 Acceso Aleatorio (<i>Random Access</i>)	24
2.5 Principales causas de fallas de Acceso	26
2.6 Casos de estudio	29
2.6.1 Caso de estudio Pilot Pollution	29
2.6.2 Caso de estudio sobre Incorrecta definición de vecinas.	34
2.6.3 Caso de estudio sobre accesos distantes	36
Resumen	39
Capítulo 3 Retenibilidad y Caída de Llamadas	40
3.1 Introducción	40
3.2 Handover en redes WCDMA/HSPA	41
3.2.1 Handover y sus tipos	41
3.2.2 Medición de Celdas	43
3.2.3 Configuración de celdas adyacentes “ <i>Vecindades</i> ”	44
3.2.4 Eventos para HO en redes WCDMA/HSPA	44
3.3 Contadores Estadísticos	48
3.4 Principales causas de Dropped Calls	49

3.5	Casos de Estudio	50
3.5.1	Caso de estudio Incorrecta definición de IFHO	50
3.5.2	Caso de estudio Missing Neighbors.....	52
3.5.3	Caso de estudio Discontinuidad	54
3.5.4	Caso de Estudio Incorrecta asignación de códigos	55
3.5.5	Caso de Estudio llamada caída por Pilot Pollution	56
	Resumen.....	58
Capítulo 4	Análisis de desempeño de Throughput en P.S.	59
4.1	Introducción.....	59
4.2	Modulación	62
4.3	Release 99 WCDMA	62
4.4	HSDPA.....	64
4.5	Conmutación de Canales de Transporte.....	66
4.6	Throughput Análisis.....	67
4.7	Contadores Estadísticos para Throughput	70
4.8	Casos de Estudio.	70
4.8.1	Caso de estudio de Impacto de Second Carrier en Throughput.	70
4.8.2	Caso de estudio sobre Interferencia de otras celdas hacia la celda servidora.	73
4.8.3	Caso de estudio de rápido decaimiento de Throughput por planeación deficiente.	76
	Resumen.....	78
Capítulo 5	Conclusiones y Recomendaciones.....	79
5.1	Conclusiones.....	79
5.2	Recomendaciones.....	82
	Bibliografía.....	83
	Anexos	a
	Reporte de Eventos del UE (User Equipment).....	a

Introducción

La necesidad de comunicarse ha sido indispensable desde siempre, y lograr superar las limitaciones que conlleva la distancia entre receptor y transmisor es uno de los retos asumidos. El desarrollo de las telecomunicaciones es la respuesta que brinda la solución, permitiendo la transmisión de información a largas distancias. En la actualidad son las redes móviles quienes toman el papel principal en las telecomunicaciones, teniendo un despliegue notorio global.

Así, el uso de celulares es una necesidad hoy en día y se ha convertido en un servicio muy importante para todos. Para lograr que el proceso de comunicación en este ambiente se lleve a cabo de la mejor manera es necesario la optimización constante del proceso en sí y los factores involucrados.

El objeto de un operador de telefonía móvil celular es encargarse de brindar un buen servicio a los clientes y garantizar la mejor experiencia en la comunicación de estos mediante dispositivos celulares. La percepción de los clientes es un factor importante que debe considerarse por parte del operador de la red, para ello se cuenta con indicadores específicos que se monitorean continuamente con diferentes formas y a través de diferentes métodos.

Conocer y saber utilizar los métodos e indicadores usados por los operadores móviles es de suma importancia en el ejercicio profesional de cualquier ingeniero que desee especializarse en redes móviles. La información al respecto que proporcione un acercamiento con esta realidad, de la manera como se encuentra en la práctica normalmente está disgregada, y no se cuenta con abundante referencias acorde con las tecnologías en la formación académica.

Adicionalmente, el continuo avance tecnológico hace necesaria la actualización del conocimiento de nuevos métodos de análisis y evaluar la efectividad al ser aplicados para resolver problemas de optimización de redes móviles 3G WCDMA/HSPA

En este trabajo monográfico trataremos el tema de optimización de la red de acceso de la tecnología de redes móviles 3G WCDMA/HSPA orientados a responder las siguientes preguntas de investigación (utilizando la teoría y herramientas existentes de forma aplicada):

- ¿Cuáles son los parámetros o variables indicadoras de desempeño que deben ser supervisadas por el operador para su optimización continua en las redes “multiservicio” 3G WCDMA/HSPA?
- ¿Cómo se correlacionan estas variables/indicadores con determinados tipos de fallas, configuraciones subóptimas u omisiones asociadas con los diferentes elementos de red?
- ¿Qué procedimiento o métodos y herramientas son recomendables a ser tratados una vez identificados las variables indicadoras y su posible correlación con oportunidades de optimización?

- ¿Cómo dar seguimiento y valorar la efectividad del procedimiento implementado mediante casos de estudio ejemplo?

La respuesta a estas preguntas, tienen valor tanto para ingenieros en su ejercicio práctico, como también en el ámbito académico al vincular los conocimientos adquiridos en la teoría que fundamenta el diseño de las redes móviles. La verificación de los procedimientos y el seguimiento de resultados, cuando sean por ejemplo recomendados por estudios previos, corresponde a una contribución adicional para la validación de métodos y teorías al ser debidamente documentados en el desarrollo del trabajo monográfico.

Objetivos

Objetivo General

Describir los indicadores y proponer, identificar y documentar apropiadamente la efectividad de procedimientos para la optimización de la red de acceso de redes móviles celulares basadas en sistemas de tercera generación 3G WCDMA/HSPA.

Objetivos Específicos

- Definir e identificar las principales variables e indicadores que son utilizados en la optimización de redes de acceso celulares 3G WCDMA/HSPA.
- Explicar, documentar y proponer los procedimientos y herramientas utilizadas para optimizar los indicadores más importantes en las redes de acceso celulares 3G WCDMA/HSPA.
- Presentar algunos estudios de casos donde se vea reflejada la efectividad de estos métodos en la práctica.

Justificación

Durante la formación académica se proporcionan los fundamentos y se enseña la teoría, una buena teoría es aquella que predice lo que se ha de observar en la práctica. Pero en el caso del trabajo con redes móviles celulares la información con que se cuenta es muy poca lo cual limita hacer una buena estimación de lo que se encuentra en la práctica de campo.

La información que proviene del ejercicio diario y la experiencia de vida en la optimización de redes es algo que no está muy bien documentado, y cuya información existe, pero de forma dispersa. Es por ello que un estudio que documente y reúna algunos de los métodos implementados en ese proceso es muy importante, además resulta provechoso para aquel ingeniero que busque aprender al respecto en su afán de convertirse en un profesional orientado al campo de las comunicaciones móviles.

Capítulo 1 Introducción a optimización en redes 3G UMTS

En el contexto de redes de acceso inalámbrico es común el uso del término “optimización” por lo cual es oportuno iniciar este escrito con esta definición. Se define por optimización al efecto de optimizar el cual consta de buscar la mejor manera de realizar una actividad [1]. Por lo cual la optimización nos lleva a la manera más eficiente de ejecutar cualquier actividad o proceso, y consecuentemente obtener el mayor provecho haciendo el menor uso de recursos, y con la menor cantidad de errores posibles.

Así mismo el concepto de optimización toma definiciones particulares en el ámbito donde se le utilice. Ejemplo de ello es el ámbito matemático, e ingenieril por consiguiente también, en donde, dado que hablamos de la mejor manera, mayor provecho, menor recurso, menor error, puede entenderse como la operación que determina el punto mayor, menor, o sea, el máximo y/o mínimo de una función dada, según los parámetros de entrada. El valor de entrada que corresponde a un valor máximo o mínimo, pasaría a ser el valor óptimo para dicha función, que es el cual produce el mejor resultado *no pudiendo ser otro punto mejor a este* [1]. Una vez encontrado, alcanzado, el punto óptimo hemos cumplido con la optimización.

Partiendo de ello, la optimización y la búsqueda del punto óptimo pueden ser relativos en la medida que se apliquen restricciones y limitantes que acoten nuestra búsqueda a cierta parte de la función tratada, y dichos criterios acordes a las necesidades requeridas. Así el punto óptimo está limitado a las restricciones asumidas, siendo el mejor resultado basado a las acotaciones dadas.

En la vida real dichas restricciones suelen ser el tiempo, recursos de trabajo, limitaciones físicas, etc. Las redes celulares son un ejemplo de este proceso en la vida real y es en el cual se basa este documento (precisamente a sistemas de tercera generación con tecnología WCDMA/HSPA).

La optimización de redes celulares se da en el punto final de la integración de la misma, antes de poner en funcionamiento cada elemento o celda que forma parte de la red en su conjunto, y también durante la vida útil (ver Figura 1.1), o sea la puesta en operación de los servicios de la red y su proceder diario. [2, p. 13]

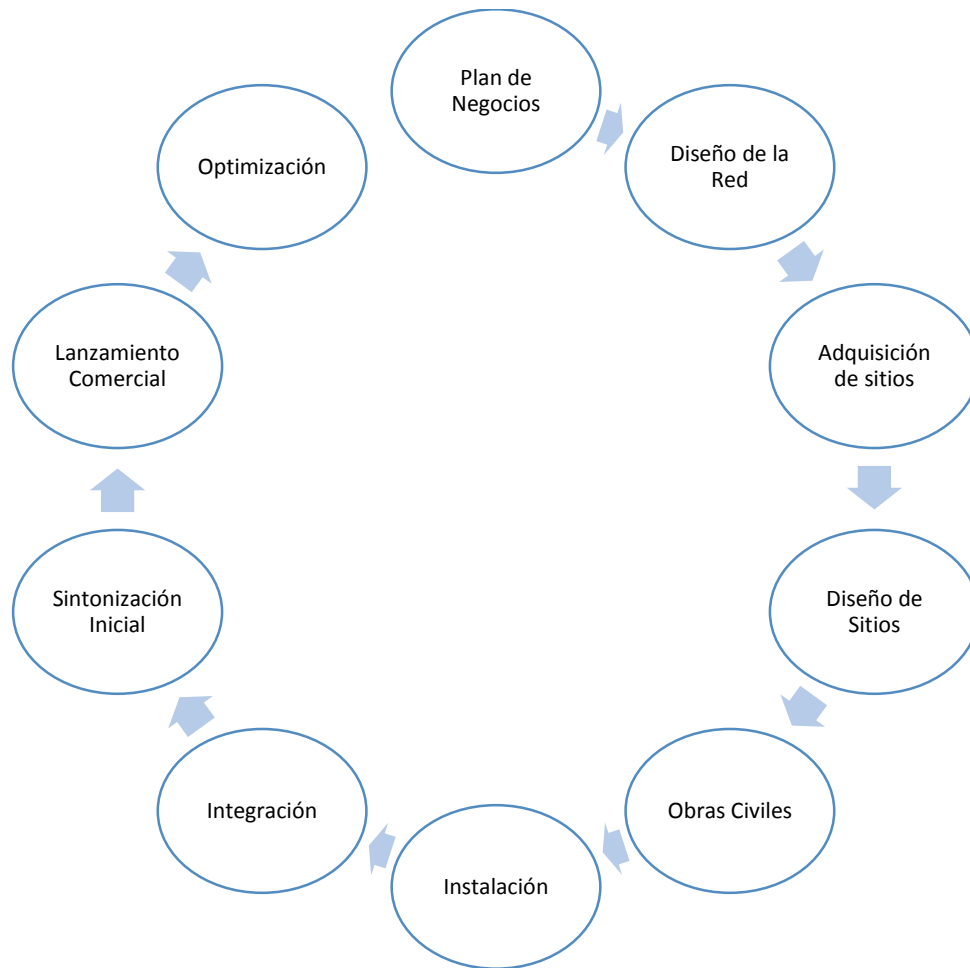


Figura 1.1 Vida de una Red

Se trata de, una vez implementado la estructura, identificar los problemas que afectan la red, de tal manera que interfieren con la calidad de servicio desde el operador hacia los clientes, y una vez identificados proceder con métodos los cuales mitiguen los efectos de dichos problemas y se consiga un funcionamiento cercano a óptimo en el desempeño de la red.

En términos de la satisfacción de usuarios, el punto ideal sería, por ejemplo, que siempre que intente realizar una llamada pueda hacerlo (*acceso*), o que una vez conducida la llamada la misma sea completada sin desconexión (*retenibilidad*). Tales niveles de satisfacción del 100% en redes celulares es un límite deseable, pero inalcanzable debido a los diferentes fenómenos físicos y las capacidades instaladas que intervienen en la realización y retención de las llamadas en comunicaciones móviles.

Variables tales como el entorno geográfico, dispositivos celulares terminales, actuar de los usuarios, infraestructuras, interferencia, ruido, carga de tráfico etc. hace que los esfuerzos de optimización tiendan hacia el límite del 100% de manera asintótica.

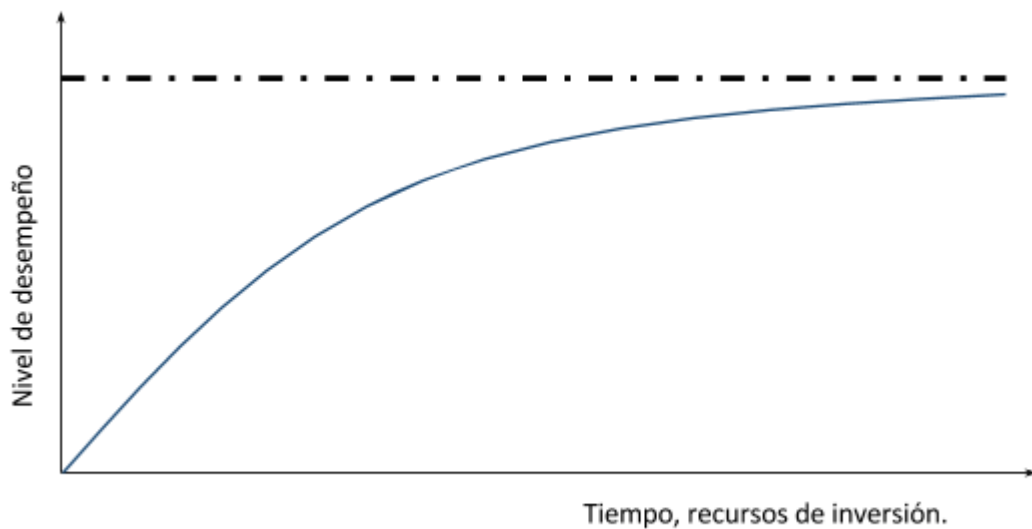


Figura 1.2 Función de desempeño de una red móvil.

Por ello para alcanzar un nivel óptimo cada vez más próximo 100% es requerido un esfuerzo de optimización muy grande y con él una inversión elevada a medida que transcurre una gran cantidad de tiempo. Es decir, podemos imaginar en este caso la función del desempeño de la red, Figura 1.2, como una función que es asintótica al cien por ciento del nivel de desempeño en el cual una vez llegado a cierto punto, los esfuerzos necesarios resultan en una mejora pequeña.

Por tanto el trabajo de optimización se extiende durante todo el tiempo de vida de la red teniendo como objetivo alcanzar niveles de desempeño “meta” tales que satisfagan las exigencias del cliente y al mismo tiempo mantener los costos de inversión en infraestructura y operación relativamente bajos.

La red móvil a la cual hacemos alusión en este trabajo es a la red de acceso de un sistema de tercera generación UMTS basada en tecnología WCDMA/HSPA.

Para lograr administrar de manera satisfactoria el desempeño de una red celular, es necesario ser capaz de navegar a través de toda la información que se recopila en la red y determinar las áreas donde las mejoras son requeridas. Debido a que la cantidad de información recolectada en una red WCDMA/HSPA es muy amplia, resultaría confuso correlacionar todos estos datos para un propósito en específico. Por ello se trabajan con indicadores, llamados *Key Performance Indicators* KPI. Los KPI representan la percepción de los usuarios a gran escala y por ende están directamente relacionados con la calidad. Son importantes entonces en el diario análisis con fines de optimización y detección de áreas afectadas en la red. [2, p. 15]

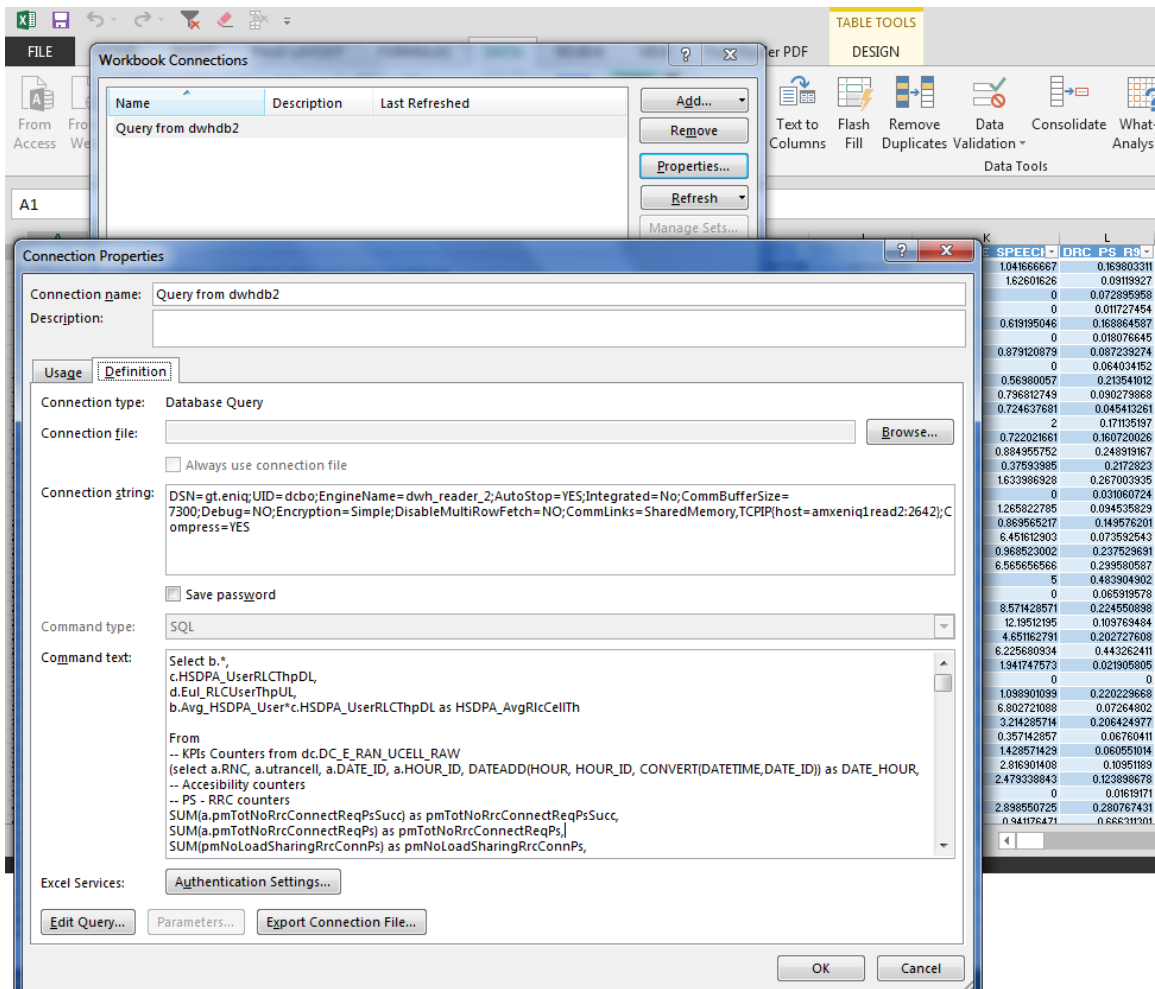


Figura 1.3 Contadores extraídos de la RNC con SQL en Excel.

Los KPI son la percepción que tiene el usuario final de la red. Las estadísticas tomadas de los KPI son más que todo ocupadas como punto de referencia para detectar áreas con problemas. Las estadísticas son tomadas de contadores de monitoreo de rendimiento “PM” que se encuentran en la red, [2]

Para leer a los datos de estos contadores, que se encuentran en la base de Datos del sistema ubicada en el Core, que en Ericsson Systems es denominado ENIQ, una de las medios más usados es el uso de SQL y Excel para su extracción y manejo, ver Figura 1.3.

Los contadores son muy diversos, para trabajar con ellos pueden asociarse y dividirse en módulos para ser tratados en conjunto. Dicho conjunto conforman los Indicadores en los cuales los parámetros se encuentran asociados por similitudes en su funcionamiento. De ellos, entre los Indicadores más relevantes encontramos: [8, pp. 6,7]

- Accessibility (Accesibilidad)
- Retainability (Retenibilidad)
- Throughput
- Mobility (Movilidad)
- Utilization (Utilización)
- Availability (Disponibilidad)

En este documento solo abordaremos los tres indicadores más relevantes desde la perspectiva de usuario, los cuales son: Accesibilidad, Retenibilidad y Throughput. La Accesibilidad es la habilidad de un servicio de ser obtenido, bajo una tolerancia específica, cuando sea solicitado por el usuario. La Retenibilidad es la probabilidad que un servicio una vez obtenido siga siendo proveído bajo ciertas circunstancias durante un tiempo dado. El Throughput es la calidad experimentada por el usuario durante una sesión de datos, en términos de la velocidad de transmisión de datos libres de errores por unidad de tiempo.

La red de acceso es la parte más próxima a los usuarios finales y también es el objeto de nuestro análisis en este documento. La red de acceso en los sistemas de comunicación celular hace referencia a la parte de la red que interconecta al usuario con el operador de la red encargado de brindarle servicios, y está conformada por lo que se conoce como estación base y el equipo móvil del usuario que explicamos más adelante en este documento. Para comprender un poco mejor que es una estación base ver Figura 1.4. En 3G, que es el centro de nuestra documentación, el término Estación base es referido como Nodo B, por lo cual de ahora en adelante en el documento así es como haremos referencia a él.

Celda o también llamada “célula”, se refiere a un espacio geográfico diseñado para brindar cobertura por parte de un equipo de transmisión RF (conocido como sector), ya sea una antena o arreglo de antenas, de ahora en adelante nos referiremos usando la palabra celda. Es decir, para cada sector corresponde una celda la cual marca su espacio de cobertura. Ver Figura 1.4.

El término 3G es una abreviación que connota tercera generación, refiérase esta, a como lo dice propiamente, a la tercera generación de comunicaciones móviles, *dicho término es acuñado por la comunidad celular global, que indica una generación de mayores capacidades respecto a las anteriores, logrando funciones de red mejoradas, permitiendo así servicios avanzados y aplicaciones como multimedia* [3].

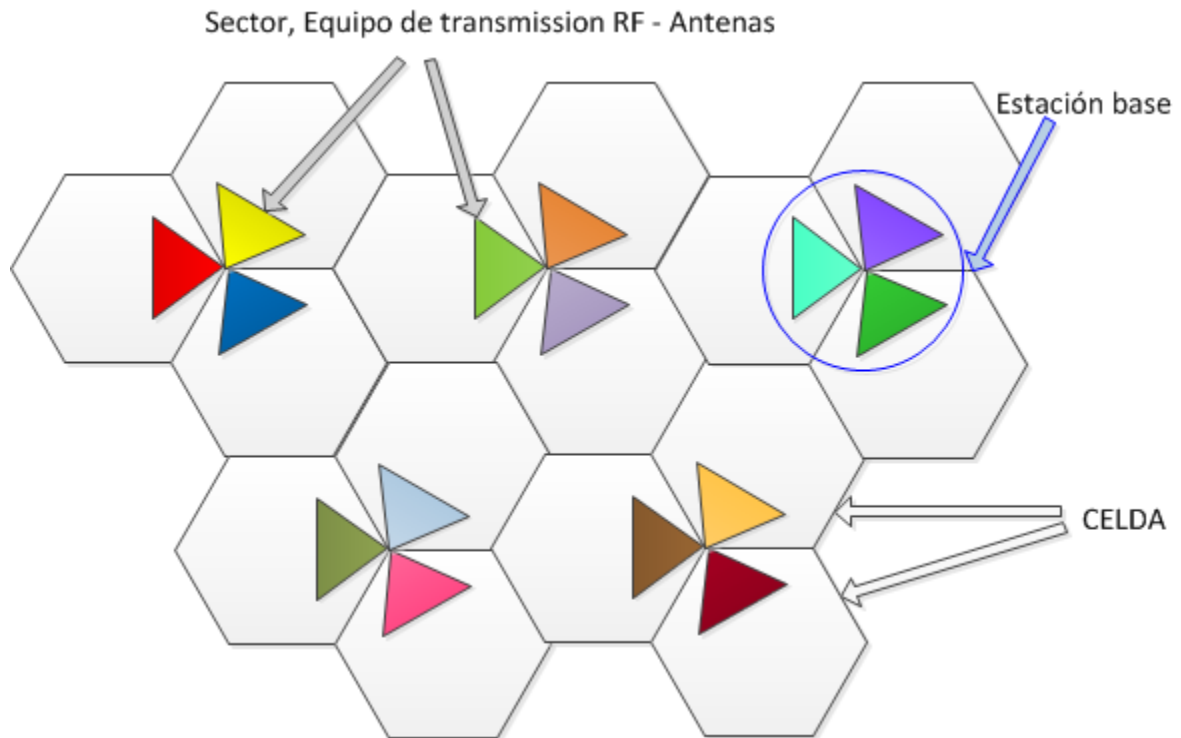


Figura 1.4 Arreglo de Celdas (Arreglo celular)

El sistema móvil implementado en las redes de tercera generación hecho para la entrega de múltiples tipos de servicio es el llamado UMTS (Universal Mobile Telecommunications System).

Dado que los sistemas de tercera generación encierran el uso de servicios mejorados como voz y servicios de multimedia, conllevan entonces al uso de mayores velocidades de acceso entre transmisor y receptor, y lograr así una experiencia ideal de lo que se requiere. Por tanto una tecnología de acceso al medio radioeléctrico, que es en donde se desenvuelven las comunicaciones, implementada en UMTS, es WCDMA, que es además en el que se centra este documento, es una de las tecnologías de tercera generación más usada en el mundo, tal que existe una organización de cooperación de diversas partes del mundo dedicada a definir los estándares de esta tecnología. Esto con el objetivo principal de terminar con la fragmentación de tecnologías para telefonías móviles que existía previa a su creación. A esta organización se le llama 3GPP (3rd Generation Partnership Project) la cual ha hecho una serie de publicaciones conocidas como Releases que suman las nuevas especificaciones que tendría que abarcar cada estándar.

WCDMA Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA) es una técnica de acceso al medio, es decir una manera de mantener transferencia de datos entre un Nodo B y un dispositivo móvil. Consiste en que los usuarios están usando la misma frecuencia al mismo tiempo, pero se logran diferenciar unos de otros porque cada uno tiene un código diferente para la transmisión y recepción de tramas (*spreading code*), en el estándar de UMTS se le conoce específicamente como channelization code, el cual además ensancha la señal en el espectro de la frecuencia dándole un mayor ancho de banda [4, p. 102]. Adicionalmente se usa otra codificación para separar diferentes señales de diferentes fuentes, en el Uplink y de separar diferentes celdas en el Downlink, el llamado *scrambling code*, esto no añade mayor ancho de banda a la señal [5, p. 102]. Debido a este tipo de tecnología cada dispositivo móvil es una interferencia de otro, por eso es vital tener un control de la energía entre la transmisión y recepción en la red. En esta técnica de acceso al medio se puede operar de dos modos Frequency Division Duplex (FDD) y Time Division Duplex TDD. [4, p. 146]

El Release inicial de WCDMA fue denominado R99 y permite conexiones dedicadas, es decir, a cada usuario se le asigna un código de canalización (CC) no compartido (Dedicated Channel, DCH) y solo existía un canal relativamente lento compartido por múltiples usuarios en un estado de transmisión lenta denominado estado de transmisión CELL_FACH (Forward Access Channel). Una mejora en velocidades de transmisión maximizando la utilización de los códigos de canalización de manera compartida fue introducida a partir de Release 5 con la introducción de HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) y más tarde a partir de Release 6 con la introducción de EUL (Enhanced Uplink) dando lugar al uso del término HSPA al incluir ambas funcionalidades [5, p. 5]. Este documento se enfocará en la tecnología WCDMA/HSPA que esta implementada en los sistemas 3G actuales en Nicaragua.

Existen dos modos de operación especificados por 3GPP denominados TDD (Time Division Duplexing) y FDD (Frequency Division Duplexing) siendo este último el de mayor despliegue a nivel mundial y el de uso actualmente en Nicaragua. Las bandas de frecuencia de WCDMA para su modo de operación FDD se detallan en la tabla 1.1. [6, p. 19]

A medida que un móvil se desplaza en el área de servicio la llamada debe ser retenida, y esto se logra mediante un proceso llamado handover (llamado también handoff, traducido como traspaso dado que es básicamente en lo que consiste, pero usaremos el término en inglés handover el cual es más ampliamente usado como jerga técnica). El handover se define fundamentalmente como el *proceso de transferir una estación móvil de un canal o estación base a otra* [7, p. 10].

Operating Band	UL Frequencies UE transmit, Node B receive	DL frequencies UE receive, Node B transmit
1	1920 - 1980 MHz	2110 - 2170 MHz
2	1850 - 1910 MHz	1930 - 1990 MHz
3	1710-1785 MHz	1805-1880 MHz
4	1710-1755 MHz	2110-2155 MHz
5	824 - 849 MHz	869-894 MHz
6	830-840 MHz	875-885 MHz
7	2500-2570 MHz	2620-2690 MHz
8	880 - 915 MHz	925 - 960 MHz
9	1749.9-1784.9 MHz	1844.9-1879.9 MHz
10	1710-1770 MHz	2110-2170 MHz
11	1427.9 - 1447.9 MHz	1475.9 - 1495.9 MHz
12	699 - 716 MHz	729 - 746 MHz
13	777 - 787 MHz	746 - 756 MHz
14	788 - 798 MHz	758 - 768 MHz
15	Reserved	Reserved
16	Reserved	Reserved
17	Reserved	Reserved
18	Reserved	Reserved
19	830 - 845MHz	875 - 890 MHz
20	832 - 862 MHz	791 - 821 MHz
21	1447.9 - 1462.9 MHz	1495.9 - 1510.9 MHz
22	3410 - 3490 MHz	3510 - 3590 MHz
23	1850 - 1915 MHz	1930 - 1995 MHz
24	814 - 849 MHz	859 - 894 MHz

Tabla 1.1 Bandas y frecuencias de operación.

Este proceso se da cuando se mueve de una celda a otra, transfiriendo el servicio en progreso, ejemplo llamadas de voz. El handover para garantizar la movilidad (entiéndase como el hecho que los servicios transcurran sin finalizar a medida que se desplaza por la red) y la buena calidad percibida por el usuario debe ocurrir de la mejor manera sin que este percate el cambio, siendo para él una comunicación fluida a medida que se mueve sin interrupción alguna.

Existen muchos tipos de handover en los sistemas de tercera generación y cada uno de ellos con sus propias particularidades, son de suma importancia en el desempeño de la red.

El Softer Handover es uno de ellos y *ocurre cuando el equipo móvil se encuentra traslapado entre dos celdas de cobertura de misma estación base*. Mientras que en el Soft Handover *el equipo móvil se encuentra traslapado entre dos celdas de dos base estación diferente*.

El “Inter-frequency hard handover”, *es cuando se realiza un traslado en WCDMA de una frecuencia a otra*. Y el “Inter-system hard handover”, *es el cambio que se hace cuando se pasa de un modo como por el ejemplo el FDD a TDD o lo inverso, o también cuando se cambia de wcdma a GSM*. [5, pp. 57-59]

Para realizar el manejo de administración de los recursos de red y el conducir la llamada se requiere de una arquitectura de red. Una red de tercera Generación UMTS está compuesta básicamente por 3 partes. Las cuales son el UE, UTRAN y CN (ver Figura 1.5).

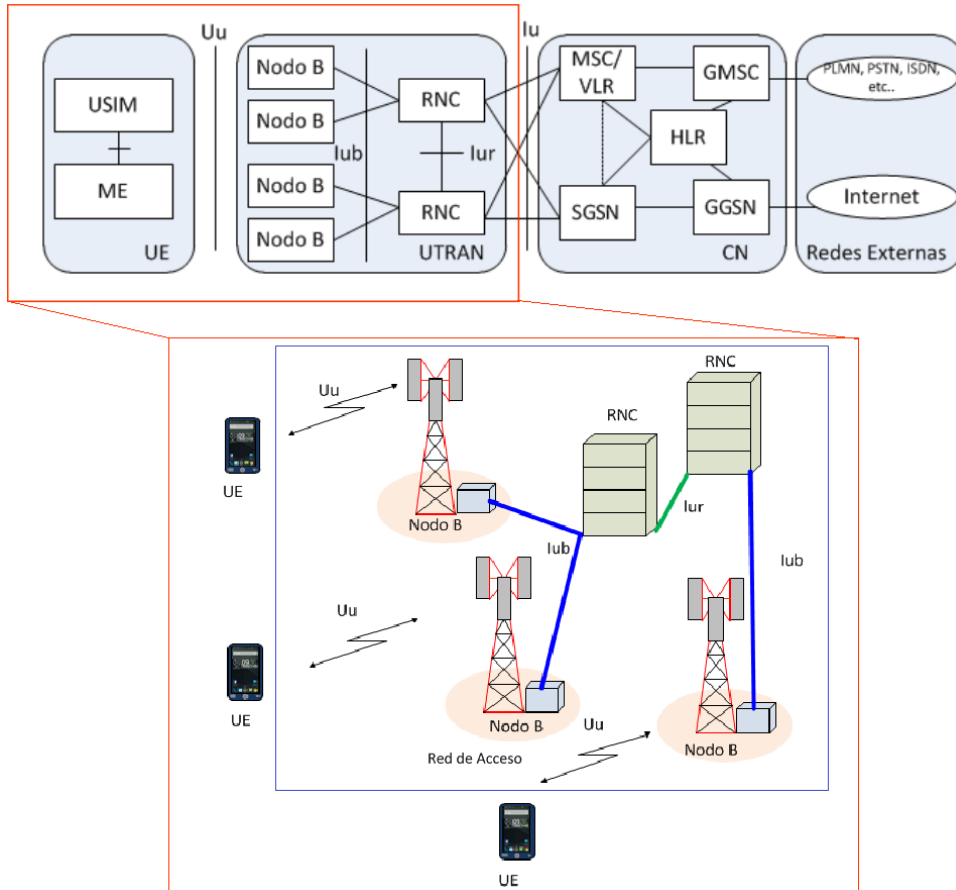


Figura 1.5 Elementos de la red

El equipo del usuario (UE), *consiste en dos partes, Figura 1.6. Mobile equipment (ME) que es la terminal radio usada para la radio comunicación sobre la interfaz de aire Uu. y el UMT subscriber identity module (USIM) que es un chip inteligente que guarda identidad del suscriptor, realiza algoritmos de autenticación y almacena autenticación y contraseñas encriptadas y alguna información de suscriptor que es necesaria en la terminal.*

El UE en la red se puede encontrar en dos estados los cuales son conectado o en reposo, mejor referidos como Connected mode y Idle Mode.

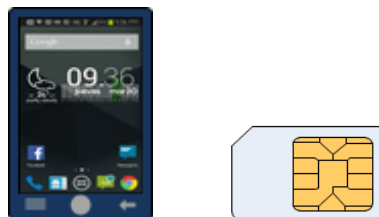


Figura 1.6 User equipment. Izquierda Terminal móvil. Derecha Módulo de suscripción de Usuario SIM

La **UTRAN** UMTS Terrestrial Radio Access Network, también consiste en dos elementos (Ver Figura 1.5).

1. **El nodo B** que convierte el flujo de datos entre la interfaz Iub y Uu. Y también participa en la gestión de recursos de radio.
2. **RNC** El controlador de la red de radio que es el que se encarga de controlar todos los recursos de radio en su dominio. La RNC es el punto de acceso para servicio para todos los servicios que la UTRAN provee del CN.

El **Núcleo (CN)** de la red es el encargado de conmutar y enrutar el flujo de datos y voz dentro o fuera de la red. La red de núcleo de UMTS es heredada de la tecnología implementada en GSM por sus características de trabajar con otras redes.

MSC/VLR: Mobile service switching center/ Visitor location register, la MSC es la que se encarga de hacer la conmutación de las llamadas dentro de la misma red. Y el VLR es una base de datos que guarda la información de la posición actual del UE en el área de cobertura de la MSC.

HLR: Home location Register, es una base de datos que tiene toda la información de los servicios de un usuario. Por ejemplo servicios permitidos, áreas de roaming prohibidas, estatus de llamadas desviadas.

GMSC: Es el gateway MSC, es el punto donde converge la red con respecto a lo que es llamadas telefónicas, en este punto se une la red UMTS PLMN a otras redes como la PSTN u otra UMTS PLMN etc.

SGNS: Service GPRS node support, Su función es parecida a la de la MSC pero esta es usualmente utilizada para lo que es Packet- Switched, osea todo lo relacionado con lo que es el servicio de datos

GGNS: Gateway GPRS node support, este elemento es el que se conecta con otras redes ISP, para dar conexión a internet a los usuarios.

Para tener conectado todos los elementos de la red existen Interfaces que se encargan de una función específica, las cuales son:

Cu: Es una interfaz eléctrica entre el USIM y el ME.

Uu: Esta es la interfaz radio WCDMA. Esta interfaz es la que enlaza entre el UE con el resto de la red para que este pueda hacer uso de los servicios.

Iu: Esta interfaz se encarga de conectar el CN con la UTRAN.

Iur: Esta conecta entre diferentes RNC facilitando lo que es el soft handover.

Iub: Conecta lo que es RNC con el nodo B. [5, pp. 76-78]

La interfaz de radio en la UTRAN está compuesta por múltiples canales los cuales pueden ser agrupados en tres capas de canales: canales físicos, canales de transporte y canales lógicos.

Capítulo 2 Accesibilidad

2.1 Introducción

Accesibilidad es la habilidad de un servicio de ser obtenido, con una tolerancia específica y otras condiciones dadas, cuando es solicitada por el usuario. Es el porcentaje de intentos de llamada hechos por el usuario final que son exitosos. Fallas con el establecimiento de la llamada pueden ser llamadas bloqueadas, debido al retardo de recursos en la red en varios niveles por ejemplo la red de transmisión, elementos de canal, potencia de DL, entre otros. Otras eventualidades que intervienen en el proceso de inicialización de una llamada son problemas de radio propagación, problemas de señalización y otros [8, p. 6].

El usuario final es de donde proviene el punto de vista más importante en cuanto a los servicios, dado que es el objetivo de la existencia de estos. Por ello la percepción del usuario es un criterio que siempre se ha de tomar en cuenta. La accesibilidad, bajo su perspectiva, es la capacidad que posee de adquirir un servicio de comunicación inalámbrica cada vez que lo solicite, con la menor probabilidad, o incluso sin probabilidad alguna de no completarse dicha solicitud.

En términos de los operadores de redes móviles, el mismo concepto de accesibilidad es válido. Sin embargo el operador conoce que un nivel de accesibilidad perfecto, o sea del cien por ciento de probabilidad de adquirir un servicio en cualquier momento, es imposible en las redes reales. Conoce entonces que la mejor aproximación es un nivel de probabilidad muy bajo de que la accesibilidad falle, tanto así que no sea percatado por el usuario final.

Esta definición de accesibilidad aplica tanto para llamadas de voz como para llamadas de video y datos que también comparten los recursos de radio de una red WCDMA, contando cada una con indicadores medibles para determinar la calidad de los diferentes servicios.

El indicador de accesibilidad es cuantificado durante el proceso de establecimiento de la llamada. Las llamadas puede ser originada por el UE (al marcar o enviar automáticamente información de red por ejemplo "Location Area Update") o desde la UTRAN. Así mismo, el UE durante su operación realiza transiciones de estados de servicios los cuales se detallan más adelante.

La Figura 2.1 Ilustra el flujo de mensajes de señalización que intercambia el UE durante el proceso de establecimiento de una llamada.

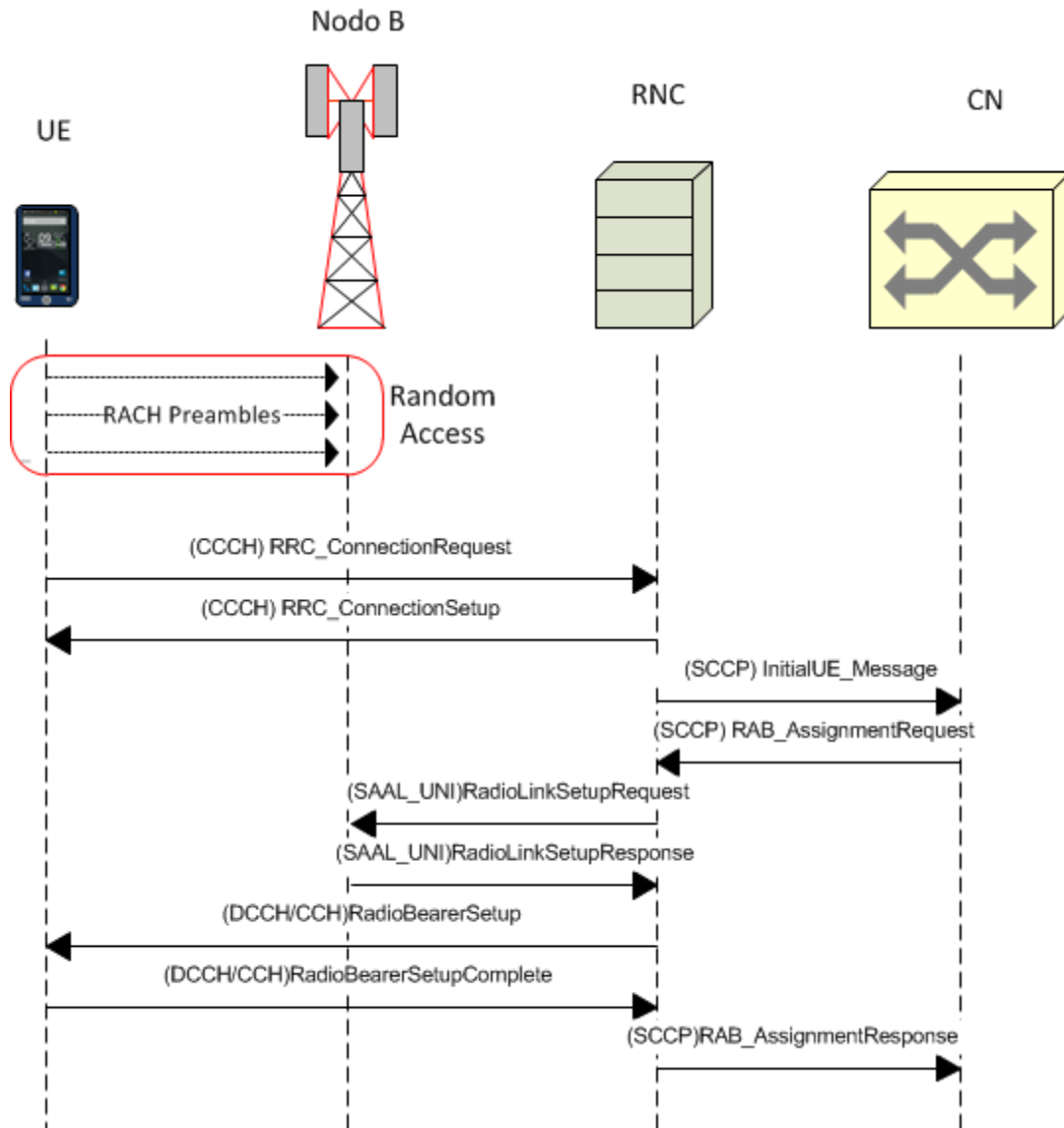


Figura 2.1 Diagrama de flujo de mensajes de señalización en el establecimiento de una llamada en WCDMA.

En esta Figura 2.1 se muestra el flujo para el establecimiento de una llamada. Luego del proceso de Random Access, el UE envía una solicitud de recursos a la RNC enviando el mensaje *RRC_Connectionrequest* vía el canal lógico CCCH transportado por el RACH (mapeado en el PRACH). Radio Resource Control por sus siglas en inglés (RRC) se realiza cuando el UE hace el procedimiento para conectar un servicio y obtiene recursos de la UTRAN. La RNC asigna los recursos al UE enviando el mensaje *RRC_connectionSetup* via el CCCH transportado en el FACH (mapeado en el Secondary CCPCH). Una vez establecido los recursos entre la RNC y el UE, la RNC envía una solicitud para la asignación de recursos de transporte entre la RNC y la MSC (*mensaje InitialUE_Message*). La asignación se confirma con el envío del mensaje *RAB_AssignmentRequest* por la MSC.

Seguidamente la RNC prepara una nueva configuración para el enlace de radio entre el UE y el nodo B a través de un *RadioLinkSetupRequest*. El nodo B confirma la nueva configuración establecida cuando el enlace de radio ha sido reservado, contesta usando el *RadioLinkSetupResponse*. Luego de esto la RNC envía un *RadioBearerSetup* al UE para establecer un enlace en el cual habrá información de control y datos (RAB) esto llega al UE por el DPCCH. El UE responde mediante un *RadioBearerSetupComplete* y si el UE tenía una configuración anterior procede a borrarla. Luego la RNC envía *RAB_AssignmentResponse* que indica al CN el resultado de la petición del *RAB_assignmentRequest*. [9, pp. 17-22]

Una vez establecida la conexión se produce el tráfico de información entre el UE y el CN, a este tráfico de información se le conoce como RAB (Radio Access Bearer), este a su vez está compuesto por RB (Radio Bearer) + lu Bearer. El RB es la conexión entre el UE y la RNC, y se divide en SRB y TRB. Cuando se trata de tráfico de señalización se tiene el SRB (Signaling Radio Bearer) y en el caso de datos para el usuario se tiene el TRB (Traffic Radio Bearer). El lu bearer es la conexión entre la RNC y el CN dividiéndose en PS y CS [10].

2.2 Estados de servicio en RRC

El UE se puede encontrar en dos modos de operación básicos: *Idle mode* (modo de reposo) y *Connected mode* (modo conectado), este último siendo más específico es llamado *UTRA RRC connected mode* [11, p. 42], que es cuando al UE se le han asignado recursos para una conexión, y en el transcurso del documento siempre será referido como Connected mode a menos que se enuncie explícitamente lo contrario. Por extensión se entiende entonces que Idle mode es el momento en que el UE está encendido, pero no mantiene ningún recurso de la red. Seguidamente el Connected mode puede ser dividido en llamados estados de servicio [5, p. 154] que indican qué tipo de canales físicos un UE está usando. La Figura 2.2 muestra ambos modos y la división de estados.

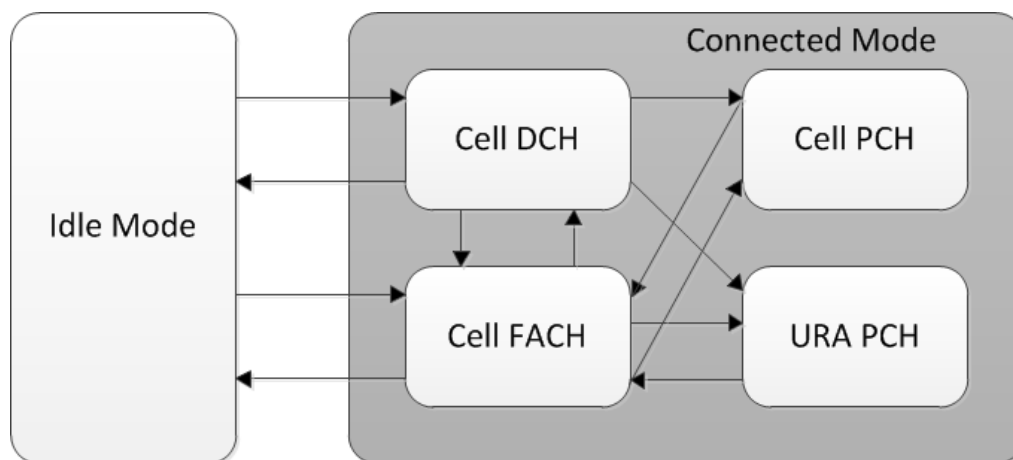


Figura 2.2 Modos de operación del UE y estados en Connected Mode.

Dado que los tipos de conexiones, desde el punto de vista del UE pueden ser diferentes, tal es el caso cuando procesos corriendo en el UE no mantienen una conexión fija sino que establecen conexiones frecuentemente de manera continua, podemos agrupar a los estados en que se encuentra el UE en situaciones así, como *stand-by states*, en los cuales se sitúan Cell_FACH, Cell_PCH, URA_PCH. El Cell_DCH podría ser llamado *active state* en el cual el UE mantiene una conexión fija y continua con la red por ejemplo en una llamada [5, p. 25]

Un UE en ambos modos de operación puede hacer ciertas mediciones a partir del canal CPICH las cuales son:

Received Signal Code Power (RSCP), que es la potencia recibida de un código después del despreading.

Received Signal Strength Indicator (RSSI), que es la potencia recibida a lo largo de todo el ancho de banda.

Ec/No, Energía por chip de un canal (*Ec*) dividida entre la densidad de la potencia del ruido (*No*), que se calcula como la división del RSCP por la potencia total recibida en el ancho de banda del canal, o sea, RSCP/RSSI. Entre más alto sea el valor de esta razón mejor podrá ser distinguida una señal por encima del ruido.

Estas tres cantidades son medidas en dB, más específicamente las medidas de potencia RSCP y RSSI son medidas en dBm. Por lo tanto la operación para determinar el *Ec/No* se transforma de la siguiente manera en la ecuación 2.1,

$$RSCP - RSSI (Ec/No[en dB]) = RSCP_{CPICH}[en dBm] - RSSI[en dBm].) \quad (Ec. 2.1)$$

Es fácil demostrar la propiedad del *Ec/No* de siempre ser negativo ya que $RSCP_{CPICH} < RSSI$. Ello debido a que la potencia de CPICH es una fracción de la potencia total del nodo y, aún sin carga de tráfico o interferencia de nodos vecinos, se necesitan otros canales de señalización no asociados a tráfico que consumen potencia adicional (Common Control Channels, CCH). La potencia total en CCHs se configura normalmente con respecto a la PCPICH, y puede expresarse como se muestra en la ecuación 2.2:

$$P_{CCH} = Beta \times P_{CPICH}, Beta > 1 \quad (Ec. 2.2)$$

Por tanto,

$$Ec/No \leq -10\log_{10}(Beta) \quad (Ec. 2.3)$$

El paso de Idle mode a Connected mode se da únicamente cuando el UE transmite una solicitud para establecer una conexión RRC, y esto ocurre principalmente por los siguientes acontecimientos:

- El UE inicia el proceso de una llamada.
- El UE recibe una llamada entrante.
- El UE informa a la red acerca de actualizaciones de área.

El uso de recursos es mínimo en Idle mode tanto para el UE como para la red, sin embargo el UE debe ser capaz de acceder y/o ser alcanzado por el sistema, con retrasos aceptables, es por ello que en este estado los siguientes procedimientos son ejecutados, aunque algunos de estos procesos son generados en el estado Idle no significa que el UE se mantenga en ese estado cuando ejecuta ese proceso:

- Selección y reelección de PLMN (Public Land Mobile Network - Red Móvil Pública).
- Selección y reelección de celdas.
- Actualización de Location Area (LA) y de Routing Area (RA).
- Voceo (Paging)
- Lectura de Información del Sistema(SIB)

Los últimos dos procedimientos corresponden a mensajes de información enviados al UE, o sea solo involucran recepción, por tanto el UE no necesita salir del Idle mode en tanto no comience a transmitir. En cambio en la actualización LA y RA es necesario que el UE genere un RRC para poder informar al CN de su nueva posición.

Como se refiere anteriormente el UE corre 5 procesos en Idle mode el primero es la selección de la PLMN (Public Land Mobile Network), que es la selección de la red siendo esta correspondiente a sistemas 2G, 3G o 4G. El UE se registra exitosamente en una PLMN cuando encuentra una celda adecuada de la cual obtenga servicios, dicha elección de celda se conoce como acampar. Cuando no logra encontrar una celda en la PLMN seleccionada trata de acampar en cualquier otra celda adecuada de otra PLMN.

Una celda adecuada para acampar tiene que cumplir los criterios de selección de celda, que es el segundo proceso que hace el UE en idle mode, los criterios de selección de celda son: nivel de calidad y nivel de señal de dicha celda seleccionada. Para saber la calidad se debe medir el CPICH Ec/No y para el nivel de señal se mide CPICH RSCP, estos valores medidos se restan contra el valor mínimo dado por el CN y el resultado tiene que ser > 0 para que el criterio sea aceptable, como se muestra en las ecuaciones 2.4 y 2.5.

$$Squal = Qqualmes - qQualmin > 0 \quad (\text{Ec. 2.4})$$

Donde Squal es el parámetro de decisión de calidad, siendo Qqualmeas la medición hecha por el UE y qQualmin el valor mínimo que indica el CN a través de los SIB (system information block) que se explica adelante en este capítulo.

$$S_{rxlev} = Q_{rxlevmeas} - q_{Rxlevmin} - P_{compensation} > 0 \quad (\text{Ec. 2.5})$$

Donde S_{rxlev} es el parámetro de decisión de nivel de señal, siendo $Q_{rxlevmeas}$ es la medición hecha por el UE y $q_{Rxlevmin}$ es el valor mínimo que indica el CN y $P_{compensation}$ es $\max(\max TXPower_{ul} - P; 0)$, $\max TXPower_{ul}$ es la máxima potencia transmitida durante un acceso aleatorio según el CN y P la potencia máxima que un UE puede transmitir.

El tercer proceso que hace el UE es LA y RA Update, que son mensajes de actualización constantes que manda el dispositivo al CN para que conozca continuamente donde se encuentra el UE. LA (Location Area) Update es el mensaje que indica al CN la posición para ubicarlo relacionado con el servicio de llamadas, y el RA (Routing Area) Update es el mensaje que indica al CN la posición para ubicarlo para el servicio de datos. Estos mensajes de actualización se envían periódicamente cada cierto tiempo. Especialmente cuando el UE sale de un LA definida por el CN.

Seguidamente el cuarto proceso del UE es recepcionar voiceos (paging) de la red para cuando esta se quiera conectar con el UE como por ejemplo cuando recibe una llamada. Estos mensajes son transmitidos en broadcast en un LA o RA determinada donde el CN sabe que se encuentra el UE. Una vez completado el proceso de voiceado el UE contesta al CN enviando una Solicitud de RRC a través del RACH para conectar la llamada.

El quinto proceso es el de recibir mensajes de información del sistema enviados por el BCCH (Broadcast Control Channel) y mapeado por el BCH (Broadcast Channel) al UE en Idle mode. La información del sistema es difundida por bloques llamados “*System Information Block*” (SIB). Los SIBs indican al UE cómo comportarse en la celda. Existe otro bloque llamado “*Master information Block*” (MIB) que contiene información de cuantos SIBs hay en una celda, esta información está directamente relacionada a una PLMN. La información que pueden contener los SIBs es: actualizaciones de LA y RA, parámetros de selección y reelección de celda, Control de potencia en canales comunes, parámetros de voiceo, gestión de mediciones, configuración de celdas y canales [2, pp. 57-67].

2.3 Contadores Estadísticos

El monitoreo y determinación del grado de accesibilidad percibido por los usuarios se determina por el operador empleando contadores estadísticos. Los contadores estadísticos empleados son colectados mediante la base de Datos del sistema ubicada en el Core, que en Ericsson Systems es denominado ENIQ.

La accesibilidad en ENIQ R11 se determina mediante la siguiente ecuación:
Para servicios CS, <RAB> = Voz

$$\begin{aligned}
 SP\ A \\
 = & \frac{pmTotNoRrcConnectedReqCsSucc}{pmTotNoRrcConnectedReqCs} \times \frac{pmNoNormalNasSignReleaseCs}{pmNoNormalNasSignReleaseCs + pmNoSystemNasSignReleaseCs} \\
 & \times \frac{pmNoRabEstablishSuccessSpeech}{pmNoRabEstablishAttemptSpeech - pmNoDirRetryAtt}
 \end{aligned} \quad (Ec. 2.6)$$

Para servicios CS, <RAB> = CS64

$$\begin{aligned}
 Cs\ 64 \\
 = & \frac{pmTotNoRrcConnectedReqCsSucc}{pmTotNoRrcConnectedReqCs} \times \frac{pmNoNormalNasSignReleaseCs}{pmNoNormalNasSignReleaseCs + pmNoSystemNasSignReleaseCs} \\
 & \times \frac{pmNoRabEstablishSuccessCs64}{pmNoRabEstablishAttemptCs64}
 \end{aligned} \quad (Ec. 2.7)$$

Para servicios CS, <RAB> = CS57

$$\begin{aligned}
 Cs\ 57 \\
 = & \frac{pmTotNoRrcConnectedReqCsSucc}{pmTotNoRrcConnectedReqCs} \times \frac{pmNoNormalNasSignReleaseCs}{pmNoNormalNasSignReleaseCs + pmNoSystemNasSignReleaseCs} \\
 & \times \frac{pmNoRabEstablishSuccessCs57}{pmNoRabEstablishAttemptCs57}
 \end{aligned} \quad (Ec. 2.8)$$

Para servicios PS, <RAB> = Data Interactive DCH

$$\begin{aligned}
 PInt\ DCH \\
 = & \frac{pmTotNoRrcConnectedReqPsSucc}{pmTotNoRrcConnectedReqPs} \times \frac{pmNoNormalNasSignReleasePs}{pmNoNormalNasSignReleasePs + pmNoSystemNasSignReleasePs} \\
 & \times \frac{pmNoRabEstablishSuccessPsIntNonHs}{pmNoRabEstablishAttemptPsIntNonHs}
 \end{aligned} \quad (Ec. 2.9)$$

Para servicios PS, <RAB> =Data Interactive HS

$$\begin{aligned}
 &P_{Int\ HS} \\
 &= \frac{pm_{TotNoRrcConnectedReqPsSucc}}{pm_{TotNoRrcConnectedReqPs}} \times \frac{pm_{NoNormalNasSignReleasePs}}{pm_{NoNormalNasSignReleasePs} + pm_{NoSystemNasSignReleasePs}} \\
 &\quad \times \frac{pm_{NoRabEstablishSuccessPacketInteractiveHS}}{pm_{NoRabEstablishAttemptPacketInteractiveHS}} \quad (Ec. 2.10)
 \end{aligned}$$

Para servicios PS, <RAB> =Data Interactive EUL

$$\begin{aligned}
 &P_{Int\ EUL} \\
 &= \frac{pm_{TotNoRrcConnectedReqPsSucc}}{pm_{TotNoRrcConnectedReqPs}} \times \frac{pm_{NoNormalNasSignReleasePs}}{pm_{NoNormalNasSignReleasePs} + pm_{NoSystemNasSignReleasePs}} \\
 &\quad \times \frac{pm_{NoRabEstablishSuccessPacketInteractiveEUL}}{pm_{NoRabEstablishAttemptPacketInteractiveEUL}} \quad (Ec. 2.11)
 \end{aligned}$$

Estas ecuaciones son tomadas como ejemplos desde sistemas Ericsson (dichos sistemas servirán de apoyo ejemplificativo durante todo el documento). Los elementos que intervienen son definidos por sus siglas a continuación [8]:

SP: Speech - Voz

Pm: Performance Monitoring – Monitoreo de rendimiento

Tot: Total

Rrc: RRC (Radio Resource Control)

Req: Requested - Solicitado

Cs: CS (Circuit Switched)

Succ: Success – Exitosa

No: Number - Número

Nas: NAS (Non-access stratum)

Sign: Signal - Señal

Rab: RAB (Radio Access Bearer)

DirRetry: Directed Retry

Att: Attempt - Intento

Pint: Packet Interactive

Ps: PS (Packet Switched)

Non: No

Hs: HS (High Speed)

EUL: Enhanced Uplink

Como puede observarse en las ecuaciones anteriores, la primera parte corresponde a la Probabilidad de Éxito de la RRC dado que, como muestra el diagrama de establecimiento de llamada, la primera etapa requiere establecer un canal de control de CS de entre la UTRAN y el usuario. La segunda parte corresponde a la probabilidad de éxito de establecimiento del canal de tráfico del usuario el cual se denomina Radio Access Bearer.

GLOBAL	RNC	UtranCell	DATE_ID	pmTotNoRrc ConnectReqCs	pmTotNoRrc ConnectReqCsSucc	pmNoRabEstablish AttemptSpeech	pmNoRabEstablish SuccessSpeech	Accesibility
GLOBAL	RNCEX01	Cell_ex A	26/02/2014	2256	2245	2204	2201	99.37695888
GLOBAL	RNCEX01	Cell_ex A	27/02/2014	2442	2442	2387	2383	99.83242564
GLOBAL	RNCEX01	Cell_ex A	28/02/2014	1858	1852	1805	1804	99.62184937
GLOBAL	RNCEX01	Cell_ex A	29/02/2014	2393	2386	2418	2406	99.21265395
GLOBAL	RNCEX01	Cell_ex A	01/03/2014	2261	2260	2259	2255	99.7787806
GLOBAL	RNCEX01	Cell_ex A	02/03/2014	2280	2273	2166	2154	99.14066676
GLOBAL	RNCEX01	Cell_ex A	03/03/2014	2548	2541	2491	2487	99.56513779
GLOBAL	RNCEX01	Cell_ex A	04/03/2014	1755	1749	1617	1616	99.59648817
GLOBAL	RNCEX01	Cell_ex A	05/03/2014	2064	2059	2056	2054	99.66071132
GLOBAL	RNCEX01	Cell_ex A	06/03/2014	2102	2103	2074	2042	98.50392747
GLOBAL	RNCEX01	Cell_ex A	07/03/2014	2057	2060	2039	2036	99.99849793
GLOBAL	RNCEX01	Cell_ex A	08/03/2014	1805	1800	1790	1788	99.61156935
GLOBAL	RNCEX01	Cell_ex A	09/03/2014	2367	2358	2340	2321	98.81089337
GLOBAL	RNCEX01	Cell_ex A	10/03/2014	2237	2236	2214	2212	99.86500342
GLOBAL	RNCEX01	Cell_ex A	11/03/2014	1584	1582	1556	1553	99.68117875
GLOBAL	RNCEX01	Cell_ex A	12/03/2014	1701	1701	1680	1677	99.82142857

Tabla 2.1 Ejemplo contadores Accesibilidad celda Cel_exA.

GLOBAL	RNC	UtranCell	DATE_ID	pmTotNoRrc ConnectReqCs	pmTotNoRrc ConnectReqCsSucc	pmNoRabEstablish AttemptSpeech	pmNoRabEstablish SuccessSpeech	Accesibility
GLOBAL	RNCEX01	Cell_exD	26/02/2014	348	348	375	375	100
GLOBAL	RNCEX01	Cell_exD	27/02/2014	828	822	934	933	99.16907178
GLOBAL	RNCEX01	Cell_exD	28/02/2014	882	876	986	986	99.31972789
GLOBAL	RNCEX01	Cell_exD	29/02/2014	1203	1198	1128	1128	99.5843724
GLOBAL	RNCEX01	Cell_exD	01/03/2014	1275	879	994	966	66.9991715
GLOBAL	RNCEX01	Cell_exD	02/03/2014	1035	502	1197	1196	48.46189548
GLOBAL	RNCEX01	Cell_exD	03/03/2014	582	235	661	661	40.37800687
GLOBAL	RNCEX01	Cell_exD	04/03/2014	317	200	354	353	62.91325812
GLOBAL	RNCEX01	Cell_exD	05/03/2014	825	496	931	930	60.05663509
GLOBAL	RNCEX01	Cell_exD	06/03/2014	859	239	986	982	27.71017764
GLOBAL	RNCEX01	Cell_exD	07/03/2014	822	476	1025	1024	57.85104742
GLOBAL	RNCEX01	Cell_exD	08/03/2014	952	348	1112	1112	36.55462185
GLOBAL	RNCEX01	Cell_exD	09/03/2014	898	379	1047	1046	42.16458946
GLOBAL	RNCEX01	Cell_exD	10/03/2014	612	400	665	665	65.35947712
GLOBAL	RNCEX01	Cell_exD	11/03/2014	330	215	382	382	65.15151515
GLOBAL	RNCEX01	Cell_exD	12/03/2014	780	370	941	941	47.43589744

Tabla 2.2 Ejemplo contadores Accesibilidad celda Cel_exD

Un ejemplo de los contadores involucrados en accesibilidad es mostrado en las Tablas 2.1 y 2.2.

Donde se puede apreciar que los contadores (columnas de color rojo) son tomados por día, y para una misma celda se calcula la Accesibilidad con la fórmula que se introdujo anteriormente en el documento.

Accesibility = $100 * \left(\frac{[\text{pmTotNoRrcConnectReqCsSucc}]}{[\text{pmTotNoRrcConnectReqCs}]} * \left(\frac{[\text{pmNoRabEstablishSuccessSpeech}]}{[\text{pmNoRabEstablishAttemptSpeech}]} \right) \right)$

Figura 2.3 Ecuación de accesibilidad para voz vista desde software de procesamiento de datos.

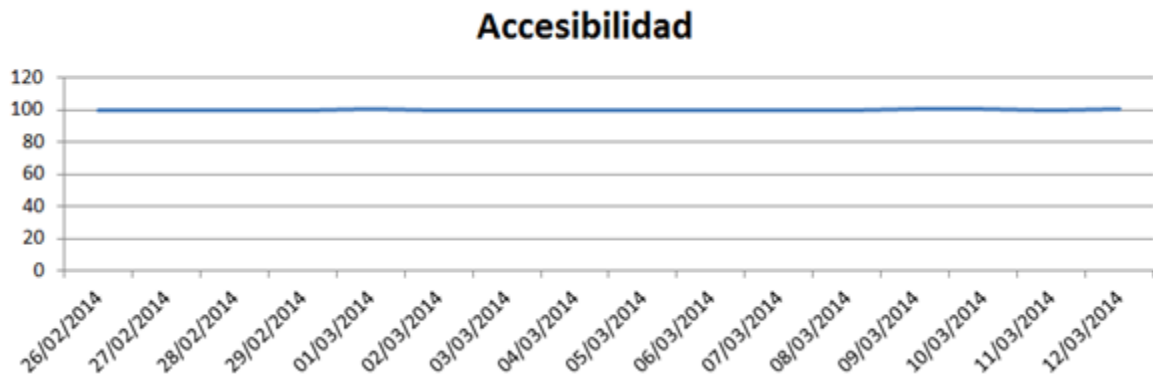


Figura 2.5 Histórico de Accesibilidad Óptimo.

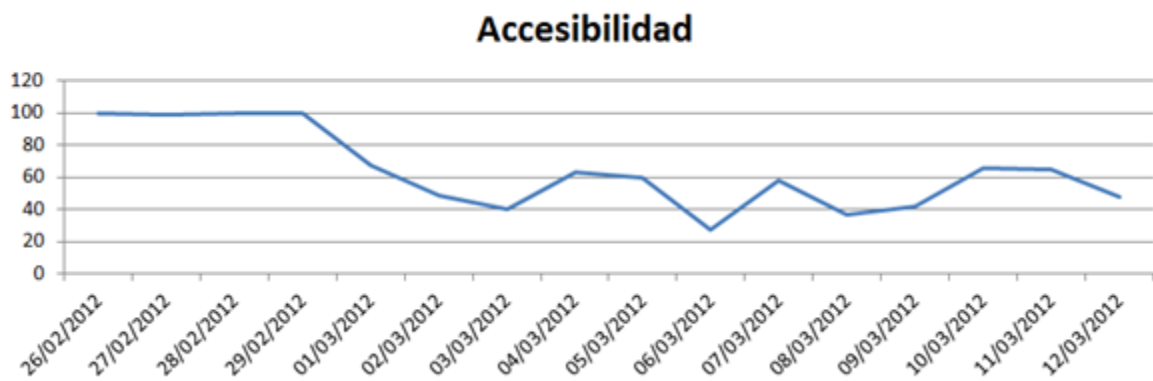


Figura 2.4 Histórico de Accesibilidad degradado.

Haciendo uso de estos datos se obtiene una representación gráfica con la cual es fácil identificar el comportamiento de una celda en particular.

En la Figura 2.5 se tiene un comportamiento controlado de Accesibilidad en donde las muestras se aproximan todas al cien por ciento ideal, mientras tanto la Figura 2.4 nos muestra algunos decrementos que afectan el desempeño del sitio.

De las ecuaciones 2.6 - 2.11 puede notarse que no se cuantifica en ellas la etapa de Acceso aleatorio, sin embargo, es considerada parte del acceso y por ello se analiza a continuación.

2.4 Acceso Aleatorio (*Random Access*)

El acceso aleatorio es el proceso en el que se le asigna recursos al UE para obtener un servicio, este se puede ver afectado por uno o varios problemas ocasionando el llamado Fallas de Acceso, **Access Failure**, que es cuando no se le asigna ningún recurso al UE para tener una conexión con la RNC.

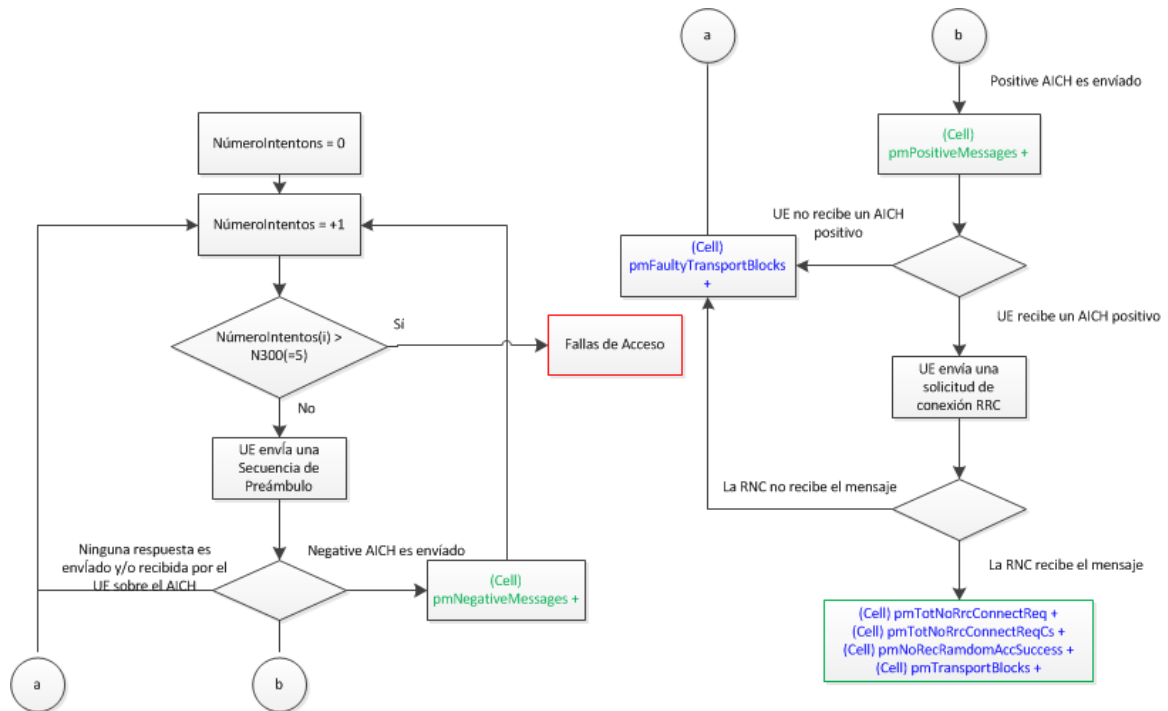


Figura 2.6 Diagrama de representación de acceso aleatorio.

El preámbulo o contadores AICH pueden ser analizados para determinar la probabilidad de que ocurran fallas de red. Esto se puede observar en la **Error! Reference source not found.** la cual ejemplifica cómo sucede un acceso a red y los contadores que se activan en caso de falla.

El UE transmite un preámbulo, tan pronto como el Nodo B detecta el preámbulo, envía un Acquisition Indicator (AI) en el AICH. Mientras no se recibe ninguna AI, el UE transmite un nuevo preámbulo, incrementando la potencia de transmisión con respecto a la anterior, dicho incremento es configurado mediante el parámetro powerOffsetP0.

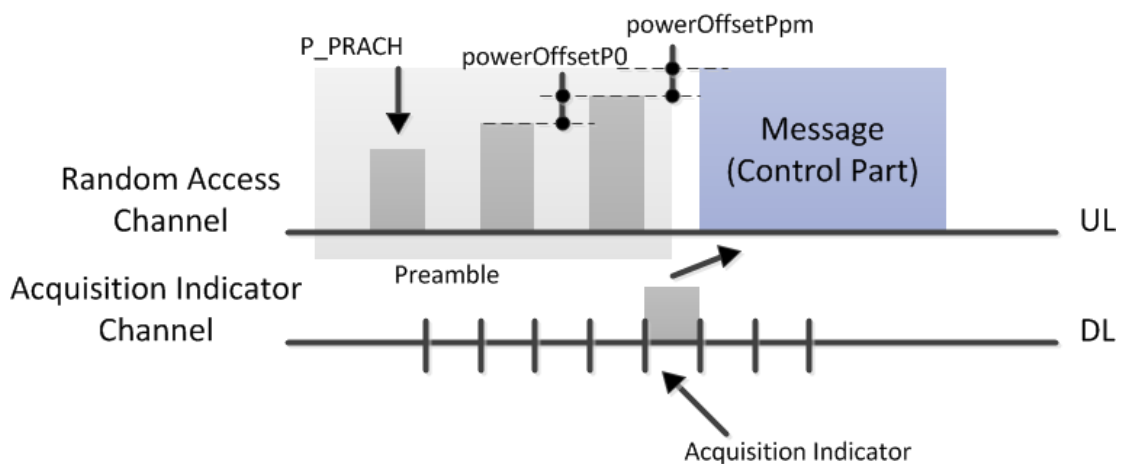


Figura 2.7 Random Access.

Tan pronto como el UE recibe un AI, envía un mensaje PRACH. La potencia de la parte de control para este mensaje es determinada como un incremento de la potencia del último preámbulo transmitido, este incremento está dado por el parámetro de poweroffsetPpm que es configurable. La potencia de la parte de datos del mensaje PRACH es determinado por el factor de ganancia de PRACH, el cual es incluido en los SIB. [12, p. 11]

2.5 Principales causas de fallas de Acceso

Las principales causas de fallas de Acceso en sistemas 3G son [2, p. 20]:

1. Definición incorrecta de vecindades (Missing Neighbors)
2. Baja Cobertura
3. Pilot Pollution
4. Pobre selección de celdas.
5. Falta de recursos disponibles, negación por parte del control de admisión.
6. Fallas de Hardware (Nodo B)
7. Fallas del UE
8. Incorrecta asignación de códigos (Scrambling Codes)
9. Congestión
10. Interferencia Externa
11. Alto RSSI
12. Acceso distante.

1) Definición incorrecta de vecindades (Missing Neighbors): En idle y connected mode el UE debe medir un set de celdas vía SIB. Dicho set debe definirse en cada celda y es empleado por el UE en modo idle para decidir en qué celda acampar (ver sección 2.2). La definición incorrecta de vecinas en una celda puede ocasionar que el terminal quiera establecer conexión con una celda lejana, y es sujeto a interferencia por celdas no definidas más cercanas. Esto se ejemplifica en un caso de estudio posteriormente en el desarrollo de este capítulo.

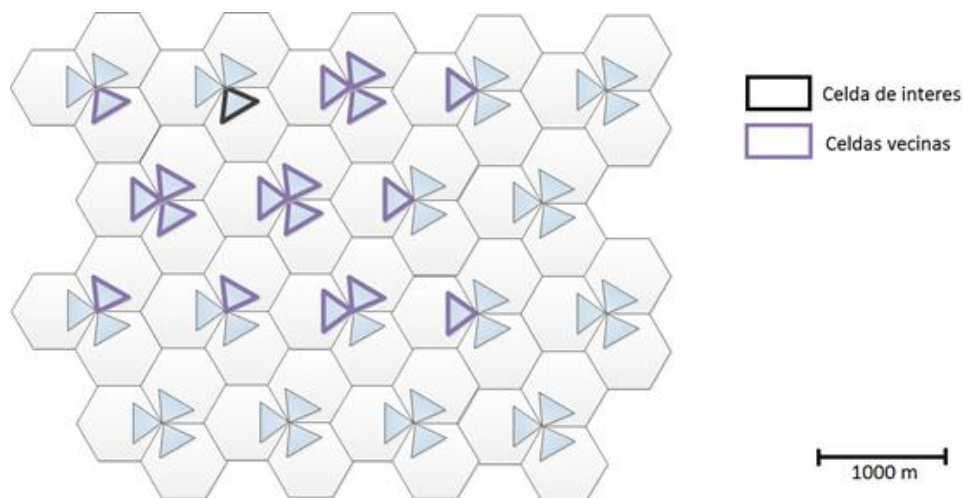


Figura 2.8 Representación celdas vecinas.

2) Baja cobertura: La cobertura que ofrece cierta celda o cierto cluster puede variar ya sea desde los requerimientos del operador, los parámetros de diseño de la red, incidencia geográfica y natural, hasta por el nivel de tráfico con el que se tiene que soportar. Los objetivos de cobertura son, por lo general y en la mayoría de los casos, poder brindar acceso a los clientes mediante sus terminales. En zonas donde en términos de potencia nos encontramos con niveles muy bajos, existan fallas de acceso por el hecho que no se cuenta con la potencia suficiente para llevar a cabo de manera normal el inicio de un servicio.

3) Pilot pollution: Este evento sucede cuando el número de celdas potencialmente servidoras excede el tamaño del active set definido. Típicamente el tamaño del active set es 3.

4) Pobre reselección de celda: El UE ejecuta muy pocas veces el proceso de selección de celdas, acampando bajo una misma celda por mucho tiempo incluso cuando los niveles de RSCP y Ec/No se han degradado. Posiblemente se deba a una incorrecta configuración de los umbrales de selección para pasar de una celda a otra. Puede deberse también a errores del mismo UE.

5) Admission Control: En un sistema de comunicación de tercera generación cuando la carga en la interfaz aire, crece de manera excesiva la cobertura de una celda se ve reducida, incluso si no se hace algo al respecto se reduce hasta por debajo de los valores planificados para cierta celda, siendo también que la calidad de servicio no sea garantizada.

El cálculo de la carga se ejecuta mediante la ecuación 2.12, la cual es una aproximación de la carga en el enlace de subida [5, p. 180]

$$\eta_{UL} = \frac{Eb/No}{W/R} \times N \times v \times (1 + i) \quad (\text{Ec. 2.12})$$

Donde N es el número de usuarios por celda, factor de actividad de usuario en la capa física, Eb/No energía de señal por bit dividida entre la densidad del ruido espectral, W es el chip rate de WCDMA (3.84 Mcps), R es la tasa de bit por usuario, i es la interferencia o razón de interferencia de otras celdas hacia la propia celda vista por la estación receptora.

Es por eso que para evitar tal tipo de situaciones se usa un control conocido de admisión, conocido en inglés como Admission Control, con lo cual se evalúa que la admisión de una nueva terminal en servicio no afecte fuera de límites la cobertura de la celda ni su calidad. Mediante el Admission Control se aceptan o rechazan los establecimientos de RABs (radio access bearer) en la red de acceso. De esta manera en un escenario con una celda con cierto nivel de carga máximo requerido para su funcionamiento planeado, según el Admission Control, un terminal puede ser rechazado de establecer una conexión y así se crea una falla de acceso para este.

6) **Congestión:** La admisión de un UE cuando la celda está cargada provocaría una sobrecarga en la celda, al suceder esto nos encontraremos también con una falla de acceso. Ante esta eventualidad estamos delante de lo que se conoce como Congestión, la cual en un sistema planeado apropiadamente no ocurrirá más que en casos excepcionales, pero aun así es un situación bastante común en los sistemas sobre todo cuando se enfrentan a las conocidas horas pico, las cuales son periodos del día donde se registra la mayor demanda de servicios.

7) **Fallas de Hardware:** Uno de los problemas relacionados a la fallas de acceso puede provenir de fallas en el equipo del nodo B. Parte de las razones es la incorrecta instalación de los equipos (antenas, feeders, conectores, etc.) o ya sea que con el tiempo se presenten deterioros de los equipos. Esto incurre en mal funcionamiento del sistema y los terminales no son capaces de acceder a la celda en donde se encuentran las fallas de hardware.

8) **Fallas de Terminal:** De igual manera como fallas en el Nodo B afecta la accesibilidad, fallas en el terminal al inicio de la conexión pueden ocurrir puesto que no está libre de mal funcionamientos. Es posible que el UE no sea capaz de sostener la conexión una vez solicitado el RRC y ni siquiera se establezca por tanto un RAB para la conexión inicialmente solicitada. Estas fallas en el UE pueden ser muy variadas y no necesariamente representan un problema de la red, siendo que es el mismo UE que oscila o es intermitente en su sistema debido a suministro de energía es variable o Software no depurados correctamente al entorno. Son fallas de acceso al iniciarse los procesos para comenzar una llamada y no completarse debidamente.

9) **Interferencia Externa:** La interferencia en los sistemas no necesariamente puede provenir de los elementos propios de la red, también pueden darse por elementos ajenos. Fuentes de interferencia externas a la red, tales como dispositivos creados para evitar las comunicaciones en lugares privados, por ejemplo. De tal manera que son generadores también de fallas de acceso para el establecimiento de un servicio.

10) **Incorrecta asignación de códigos:** Dos celdas cercanas empleando el mismo Scrambling Code en la misma portadora WCDMA incrementa la interferencia intercelda y deteriora la accesibilidad. Este tipo de problema puede ser debido a un error involuntario o a un pobre planeamiento de Scrambling codes (hay 512 Scrambling code disponibles por carrier).

11) **Alto RSSI:** El UL RSSI o uplink Received Signal Strength Indicator, es el indicador de la intensidad de señal de la potencia total recibida sobre todo el canal en el enlace de subida. Con este parámetro se pueden presentar algunas situaciones que afecten la calidad de la red. Tal como bajo UL RSSI lo cual indica la celda no está recepcionando señales de ningún UE, debiéndose esto tal vez a fallas de componentes, instalaciones inapropiadas, etc. También alto UL RSSI es perjudicial e indeseable, y es más probable la presencia de este, indicando alta interferencia que puede llevar a caídas frecuentes y fallas de acceso así como calidad de voz muy baja.

12) **Acceso Distante:** Sucede cuando el UE acampa en una celda lejana que por motivos del escenario actual presenta niveles suficientes para ser la servidora momentáneamente. Dicho escenario puede ser una sobre propagación, obstrucción de las celdas cercanas, etc. El problema se presenta cuando el UE se mueve y no se elige otra celda con mejores niveles para acampar, puesto que al moverse los niveles de señal y calidad de la celda actual se degradan provocando una falla de acceso al momento que el UE intente acceder a la red para utilizar algún servicio.

2.6 Casos de estudio

En esta sección presentamos casos de estudio que frecuentemente se presentan en una red y que deterioran de manera importante la accesibilidad.

2.6.1 Caso de estudio Pilot Pollution

La presencia de Pilot Pollution debido a cantidad de servidoras es ejemplificada en la zona que se aprecia en la Figura 2.9 (imagen obtenida de Actix Analyzer, en la cual mediante Drive Test se consiguieron las mediciones). La zona fue reportada con problemas de accesibilidad y bloqueo de llamadas ocasionales en los cuales se observaba la intervención de celdas con niveles similares para tomar el servicio.

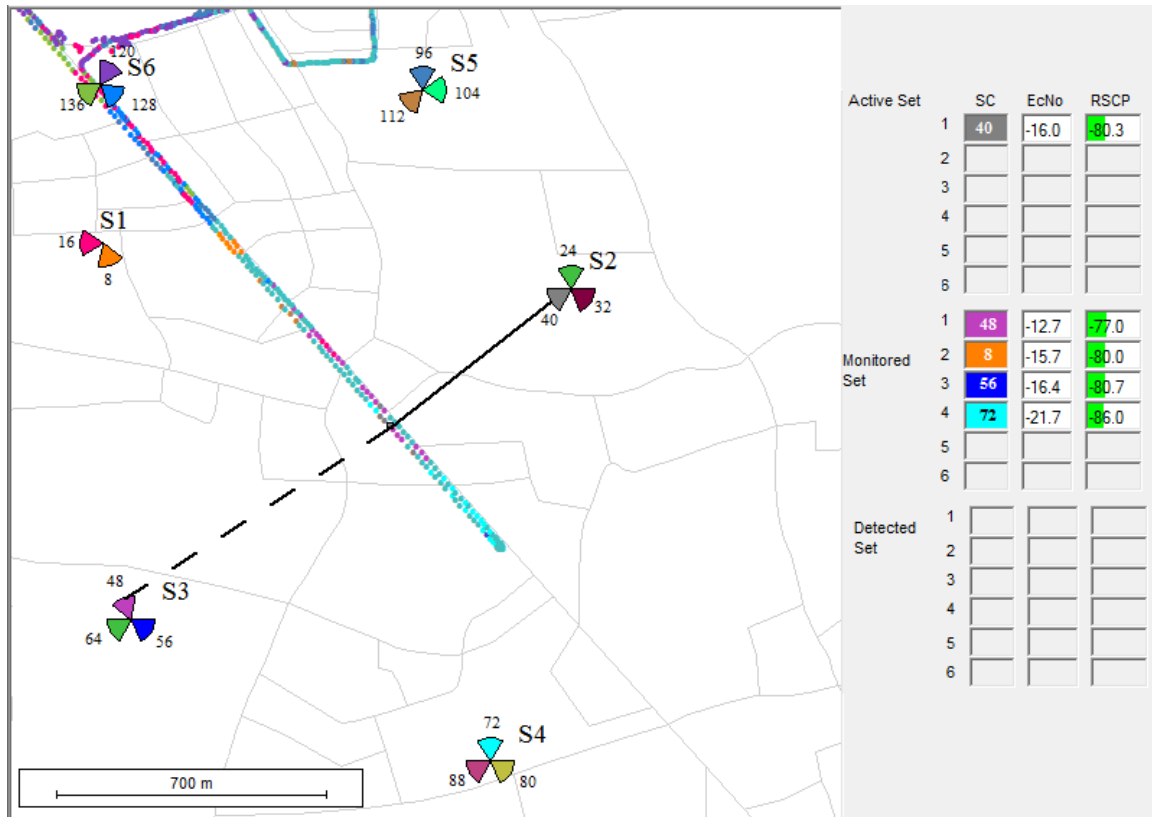


Figura 2.9 Drive test y cuadro de análisis de niveles que indican PP.

Mediante la herramienta Atoll obtenemos la predicción de Pilot Pollution con la cual nos encontramos con las zonas donde sirven más de una servidora a la vez, dicha predicción no es más que una estimación. Pero con cierto grado de fiabilidad se es capaz de determinar qué área presenta polución dado que sea servida por más de tres celdas simultáneamente con niveles de señal similares los cuales no varíen demasiado (una ventana de 6dB para este caso).

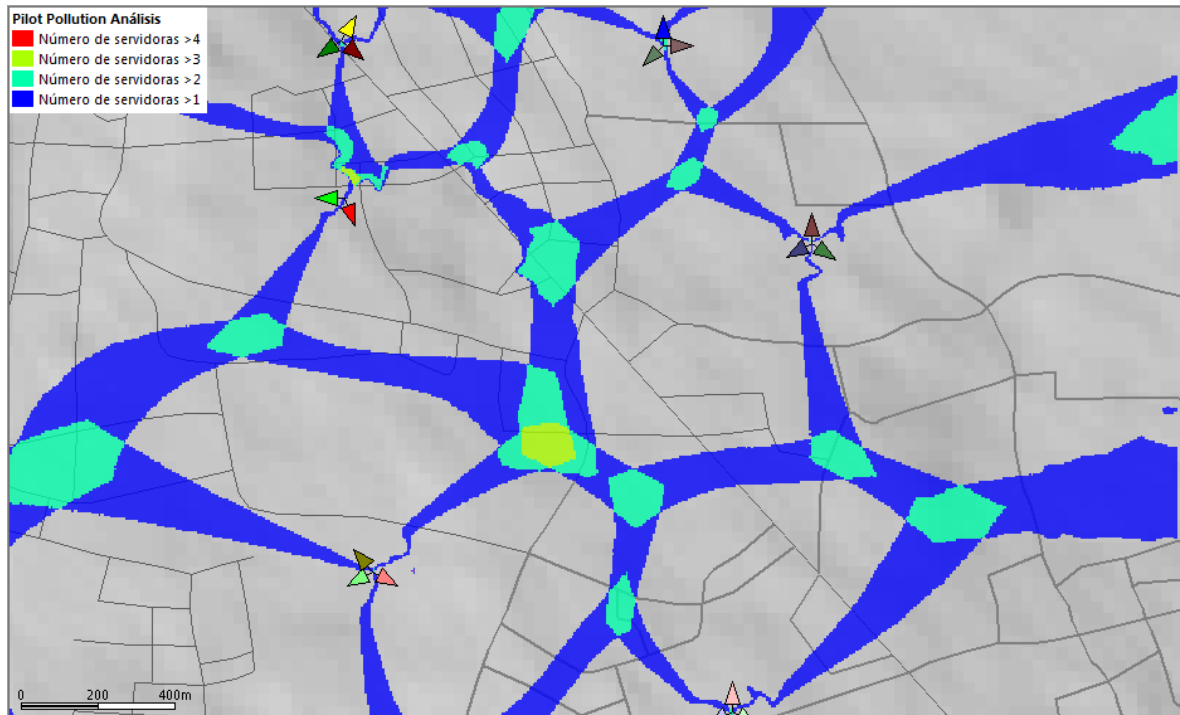


Figura 2.10 Predicción de Pilot Pollution en Atoll.

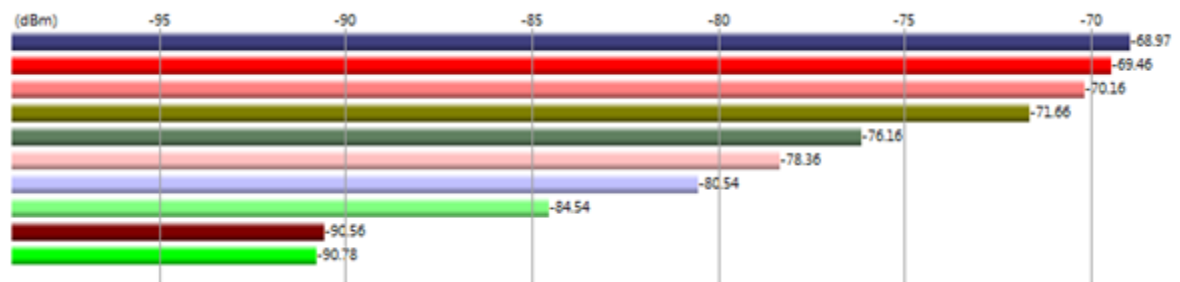


Figura 2.11 Estimación de niveles de señal para la zona de interés en Atoll.

Haciendo uso de la predicción de niveles de las servidoras, Figura 2.11, en un punto en particular nos encontramos cuales son las 4 servidoras que contribuyen a la polución en el área encontrada previamente.

En la simulación de cobertura basada en la RSCP CPICH, Figura 2.12, de una de las cuatro celdas se nota que todas ellas llegan al área con niveles de entre 60 y 70 dBm haciendo de cada quien una posible servidora.

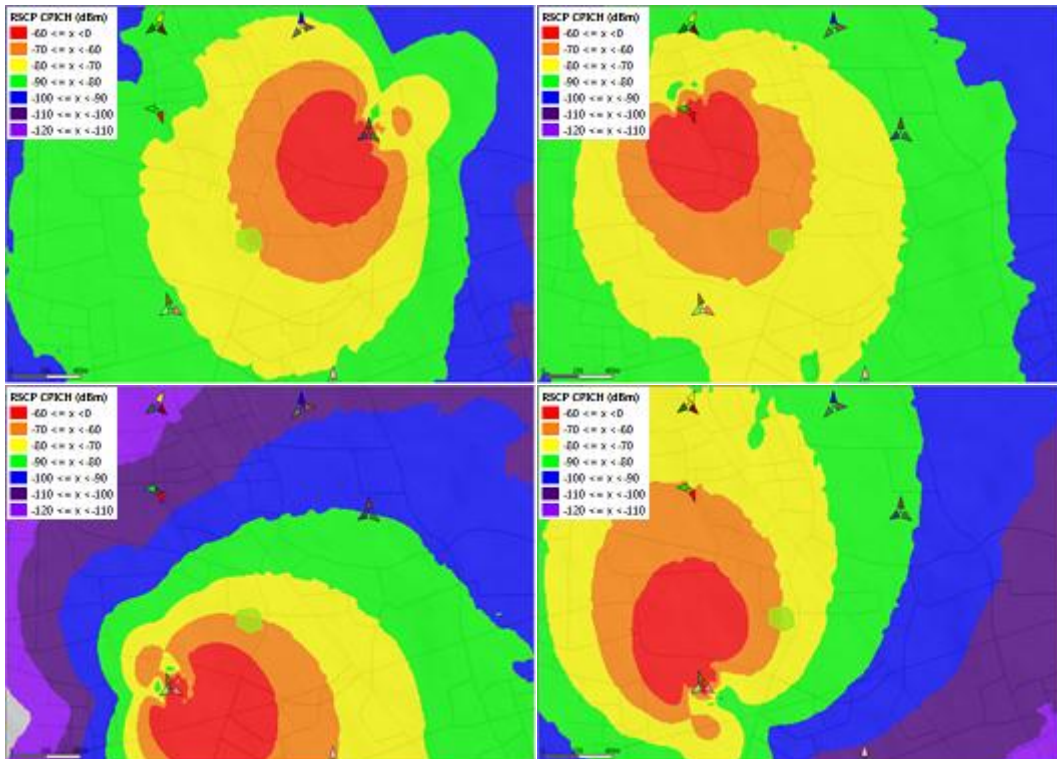


Figura 2.12 Predicción de RSCP CPICH para una celda determinada. De izquierda a derecha, de arriba hacia abajo. S2 SC: 40; S1 SC: 8; S3 SC: 56; S3 SC: 48

Para limpiar esta área que se encuentra entre S3, S2, S1 y disminuir el número de servidoras al menos a 3 que sería el caso ideal. La decisión sobre cual celda tomar acciones de cambio está basada en las Figura 2.11 y Figura 2.12 donde la celda S3 SC: 48 es la menor de las servidoras del área de polución e incluso su cobertura se sobre propaguen en dirección y hasta la ubicación del sitio S1.

En la tabla 2.3 se detallan los cambios considerados para lidiar con el PP. Posterior a los cambios la predicción de la zona (Figura 2.13) y los niveles en la zona analizada (Figura 2.14) se presentan a continuación, con los cuales se observa una disminución de la polución, o sea, como el número de servidoras de la zona.

Sitio	Sector	Antes					
		Tilt Eléctrico (°)	Tilt Mecánico (°)	Azimuth (°)	Altura (m)	Potencia CPICH (dBm)	Banda (MHz)
S3	S3 SC:48	7	0	340	36	33	850
Sitio	Sector	Después					
		Tilt Eléctrico (°)	Tilt Mecánico (°)	Azimuth (°)	Altura (m)	Potencia CPICH (dBm)	Banda (MHz)
S3	S3 SC:48	8	0	320	36	33	850

Tabla 2.3 Detalle de parámetros y cambios.

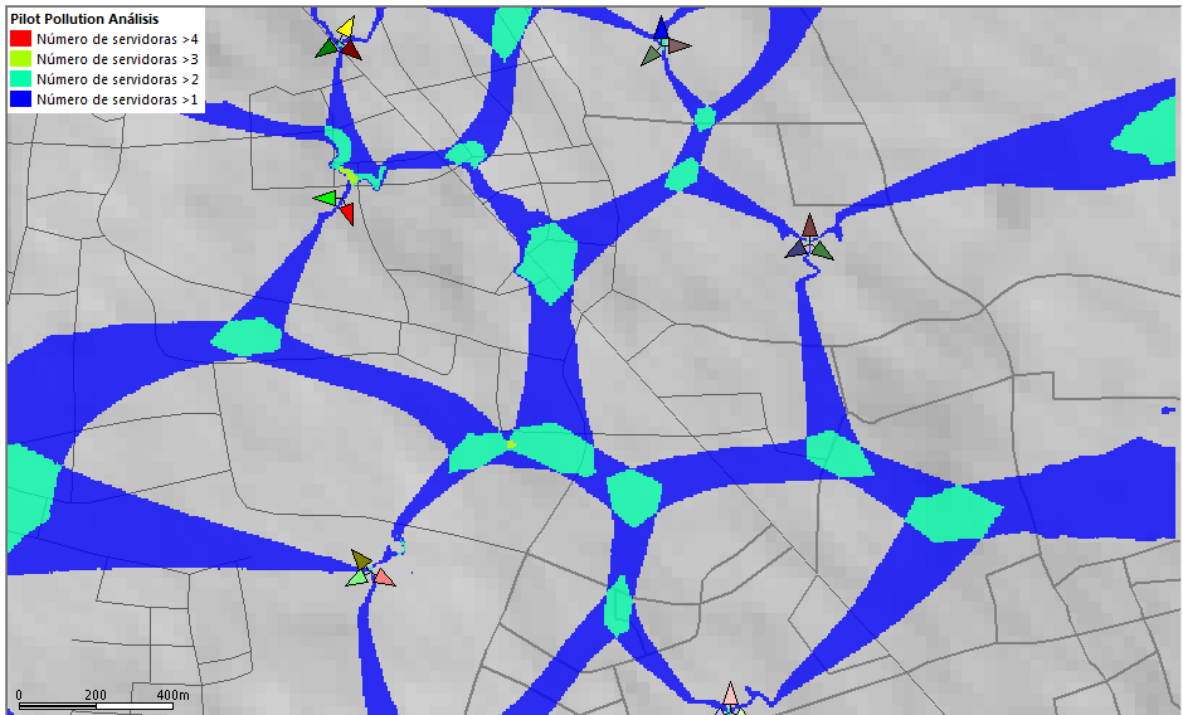


Figura 2.13 Predicción de P.P después de ajustes.

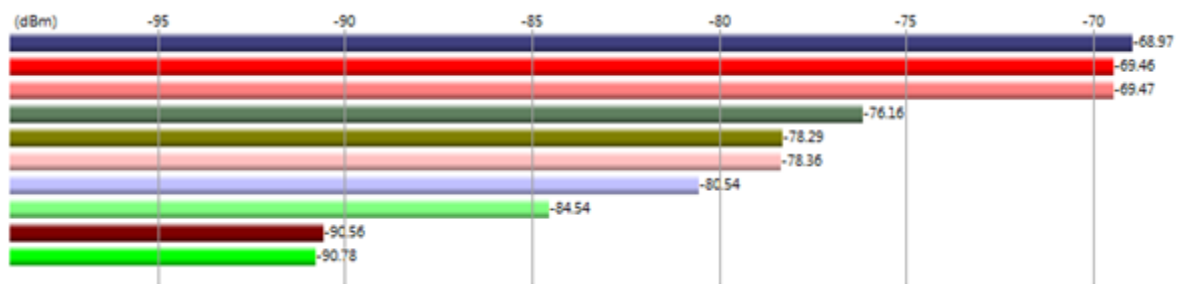


Figura 2.14 Estimación de niveles de señal para la zona de interés en Atoll después de cambios.

Adicionalmente una predicción de Ec/No Comparativo antes y después muestra que no solo se ha suprimido la presencia de PP sino que también no hubo una degradación de la calidad en términos de Ec/No y se cuenta con un ligero incremento de buenos niveles en la zona.

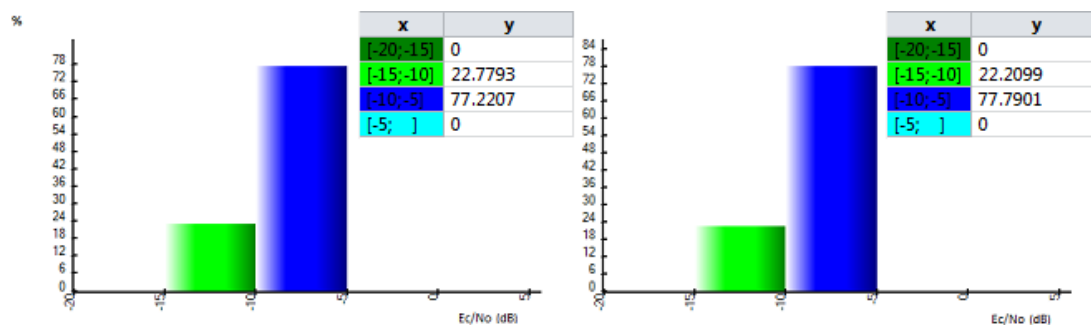


Figura 2.15 Estadísticas generadas por ATOLL de la predicción de EcNo en el área de interés. Izquierda Antes / Derecha Después.

2.6.2 Caso de estudio sobre Incorrecta definición de vecinas.

En sistemas de tercera generación nos encontramos con vecindades, la correcta definición de celdas vecinas garantiza movilidad, como ya habíamos definido, pero también accesibilidad y para entender ello nos valemos de un escenario en donde el terminal está en curso de iniciar el Connected mode, pero la definición incorrecta de vecindades conlleva a que cierta celda sea percibida como fuente de interferencia, o de manera contraria el terminal quiera establecer conexión con una celda lejana, y en ambos casos el inicio del servicio sea fallido y tengamos así una falla de acceso. Esto se ejemplifica en un caso de estudio posteriormente en el desarrollo de este capítulo.

En un área como la de la Figura 2.16 se analizan las vecinas definidas para un sector en particular.

En la Figura 2.16, obtenida con apoyo de Xeus para la visualización de los sectores y sus vecinas, la imagen de la izquierda nos muestra el sector en cuestión, y la imagen de la derecha las vecinas de este marcadas en morado, como se puede apreciar el sector marcado con un círculo rojo no es una vecina definida lo cual es un problema dado que según las predicciones obtenidas en Atoll, Figura 2.17, existe interacción entre ambos a niveles de entre 70 – 80 dB

Es decir que en una llamada conducida entre ambos sectores el UE detectará la celda con altos niveles propios para ejecutar un Handover, pero puesto que no existe relación entre los sectores solo será percibida como interferencia tal que degrade la calidad y no inicie la llamada.

Es recomendable entonces definir el sector marcado y no solo este sino todos los sectores del sitio, basándonos en las predicciones de niveles de señal, Figura 2.18, que indican que se llega con niveles de entre 70 – 80 dB a este sector.

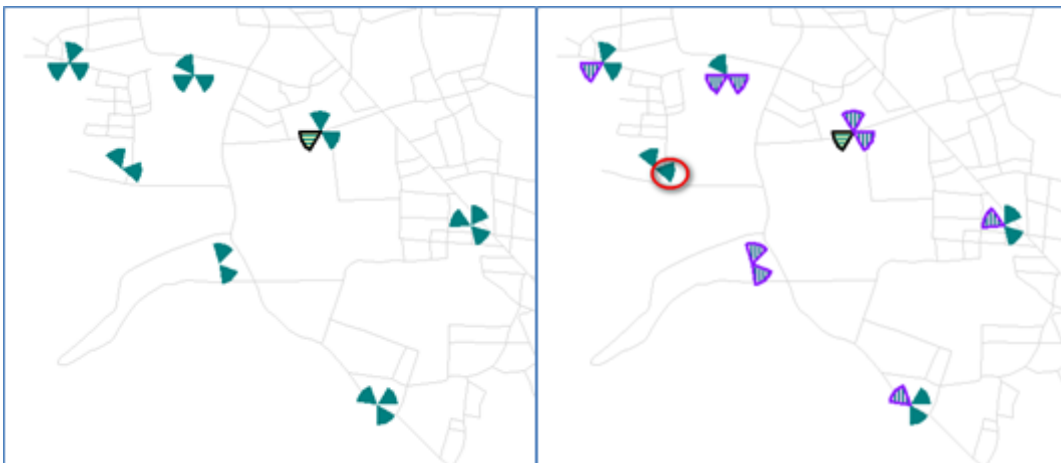


Figura 2.16 Muestra de vecindades definidas para un sector en particular. Izquierda: zona de análisis y sector de interés (resaltado). Derecha: Vecindades para el sector y posible celda no definida (encerrada).

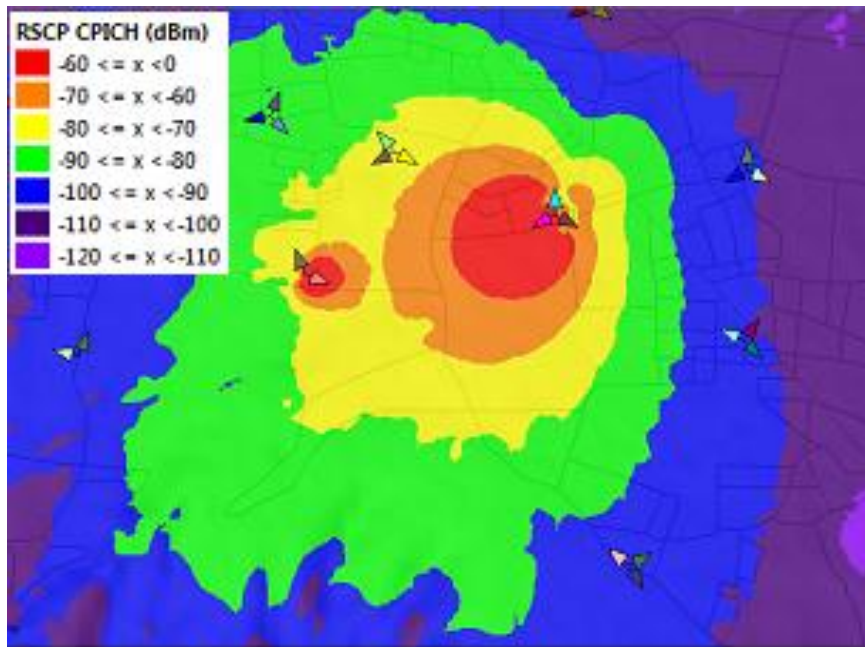


Figura 2.17 Predicción de interacción de RSCP CPICH entre dos celdas.

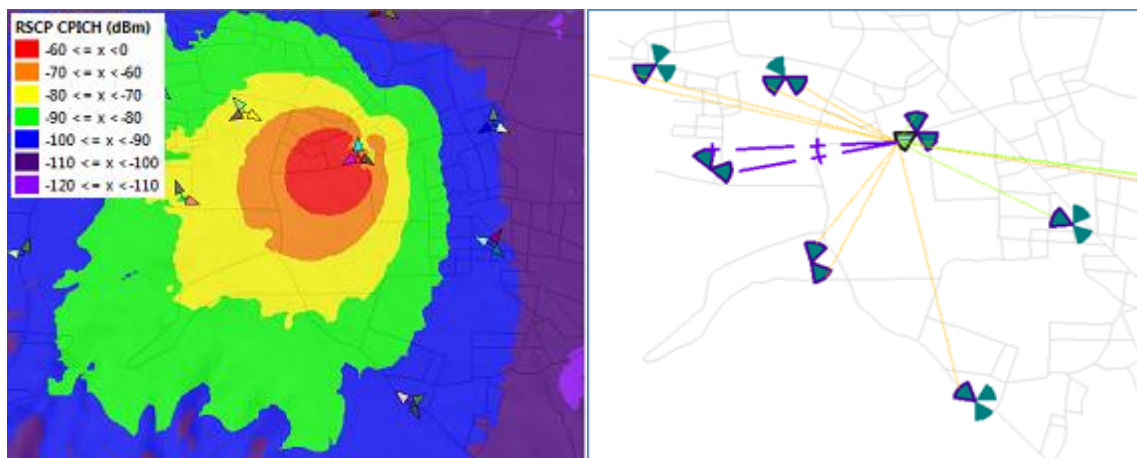


Figura 2.18 Definición de vecindades en base a predicción de cobertura RSCP CPICH.
Izquierda: Predicción RSCP CPICH (Atoll). Derecha: Inclusión de celdas como vecinas
definidas (Xeus).

2.6.3 Caso de estudio sobre accesos distantes.

En el siguiente caso se presenta una falla en el establecimiento de una llamada provocado a razón de un acceso de una celda distante. Para este caso nos apoyaremos con la herramienta de post proceso Actix.

Se puede observar en la Figura 2.19 que el Sitio S1 sector SC: 027 es la celda servidora al momento de iniciar la llamada. Pero debido a que se encuentra a 2,5 Km aproximadamente del lugar del evento y fuera de su zona de cobertura óptima esta celda toma se registró con bajos niveles (-99 dBm), los cuales no son suficientes para el inicio del servicio.

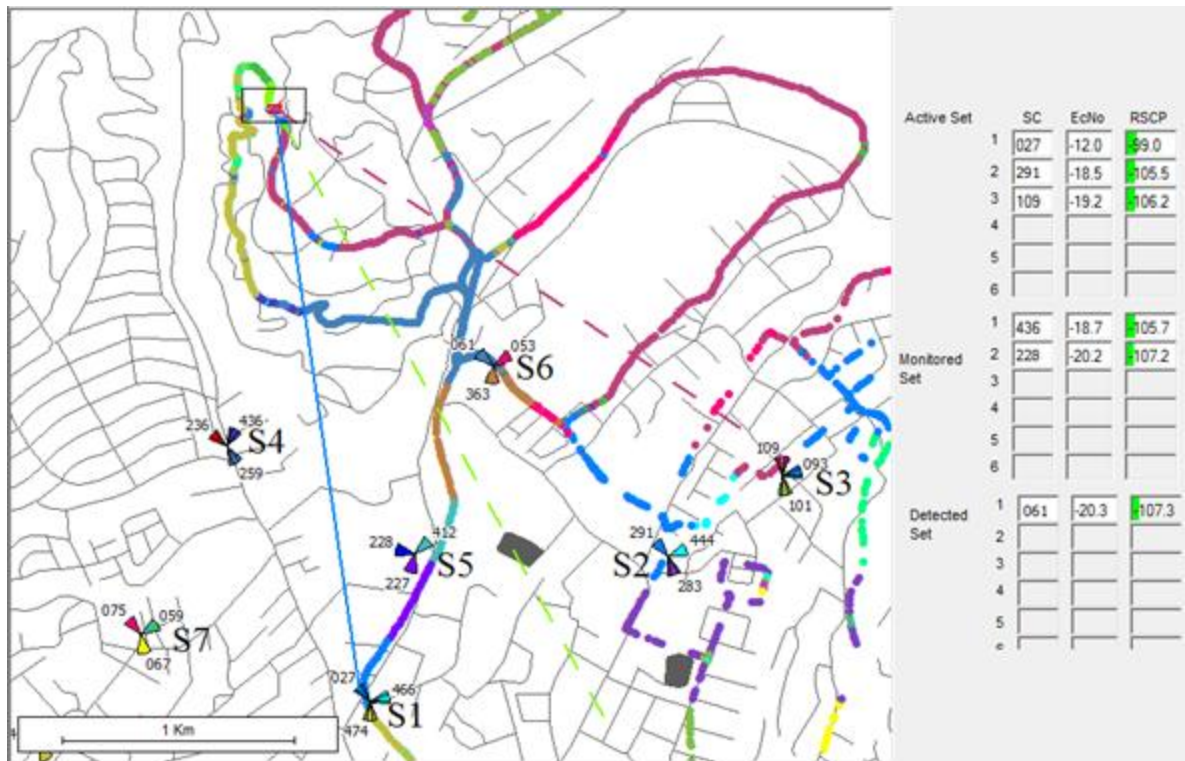


Figura 2.19 Falla de acceso en recorrido de DT. Cobertura por SC y niveles de señal.

A como se aprecia en la Figura 2.20 la zona del evento presenta bajos niveles en general. Podría catalogarse esta eventualidad como un caso de baja cobertura, pero la distribución de sitios de la zona apunta a un pésimo plan de cobertura y de diseño, con el cual las celdas cercanas no se propagan de manera adecuada como para tomar el servicio correspondiente al área problemática. Sea entonces que dicha área está bajo un dominio relativo de celdas distantes, y es relativo porque los niveles que llegan a esta área son muy bajos.

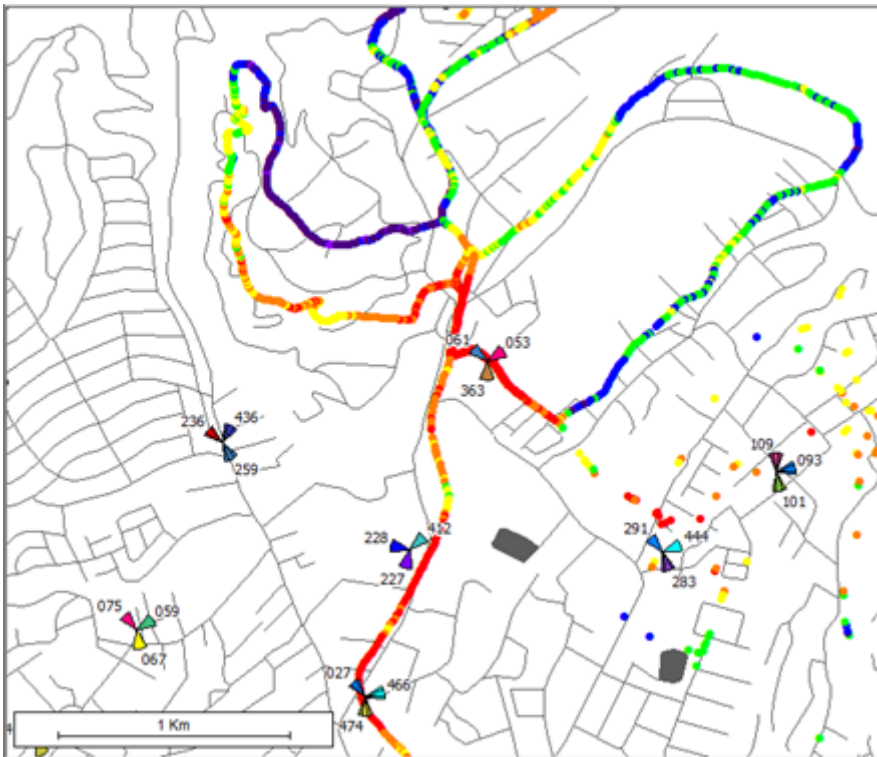


Figura 2.20 Falla de acceso en recorrido de DT. Cobertura por SC y niveles de señal.

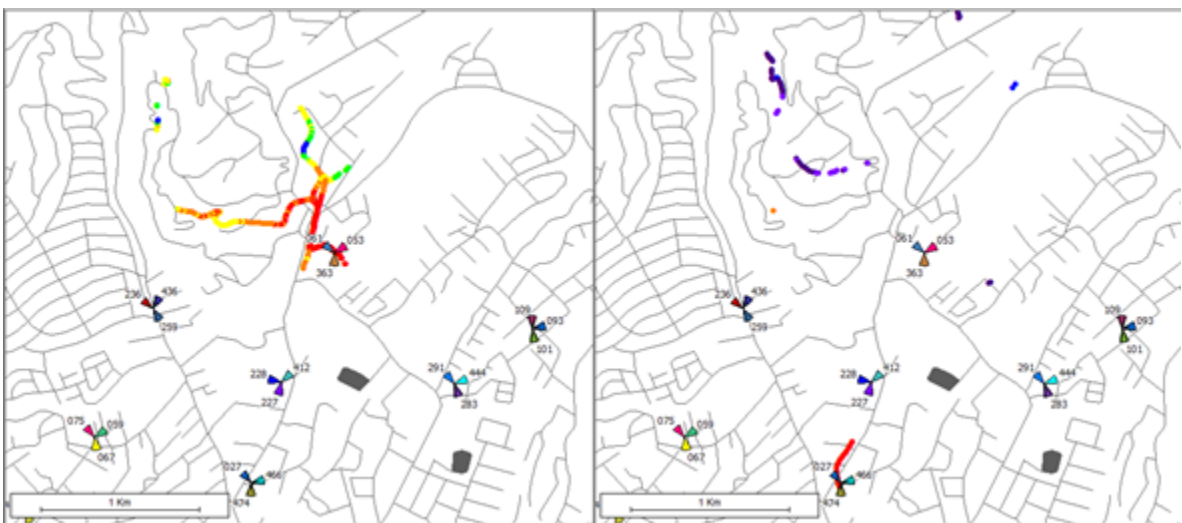


Figura 2.21 RSCP CPICH por SC. Izquierda SC: 61. Derecha SC: 27.

En la Figura 2.21 nos presenta como en el recorrido la celda SC: 61 solo abarca un área de cobertura limitado, mientras que la celda SC: 27 registra muestras, aun con bajos niveles, en áreas lejanas a su zona de cobertura óptima. Estadísticas del tráfico, Figura 2.22, procesadas con Excel, de la celda SC: 27 nos revelan que precisamente toma el tráfico que maneja en su mayor parte es superior a los 2 Km.

Las acciones a tomar para la solución de este caso es mejorar la cobertura de la zona, lo cual se logra dadas las condiciones que se presentan, con la integración de un nuevo sitio el cual tome la dominancia de servicio de la zona problemática y evite así la presencia de celdas lejanas a la zona.

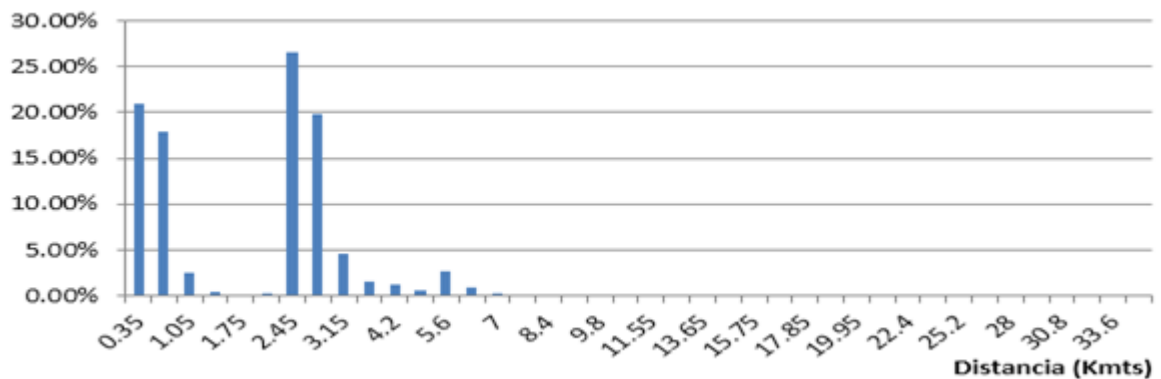


Figura 2.22 Estadísticas de accesos Sitio S1 SC: 27.

Resumen

En este capítulo se definió la accesibilidad desde dos puntos de vistas, el usuario y el operador. También se explicó cuál es el proceso para iniciar una llamada en una red 3G UMTS/HSPA.

Se indican cuáles son los modos de operación que se puede encontrar el UE (Connected mode y Idle mode,) también se señala las razones del porque se traslada de un estado a otro. En connected mode hay 3 estados CELL_DCH, CELL_FACH, URA_PCH. Se explican los procesos que corre el UE estando en Idle mode.

Las principales causas de fallas de Acceso en sistemas 3G son:

1. Definición incorrecta de vecindades (Missing Neighbors)
2. Baja Cobertura
3. Pilot Pollution
4. Pobre selección de celdas.
5. Falta de recursos disponibles, negación por parte del control de admisión.
6. Fallas de Hardware (Nodo B)
7. Fallas del UE
8. Incorrecta asignación de códigos (Scrambling Codes)
9. Congestión
10. Interferencia Externa
11. Alto RSSI
12. Acceso distante.

Las fallas de acceso más comunes que fueron ejemplificadas son:

1. Pilot Pollution
2. Incorrecta definición de vecinas
3. Acceso distante

Capítulo 3 Retenibilidad y Caída de Llamadas

3.1 Introducción

En este capítulo se abordará la Retenibilidad, la cual es la probabilidad que un servicio, una vez obtenido, continúe siendo proveído el tiempo deseado en condiciones determinadas, por ejemplo, en condiciones de desvanecimiento, interferencia cocanal, etc. [8, p. 6]

El KPI estándar para retenibilidad es el porcentaje de llamadas exitosas, o sea llamadas no caídas. Para el cálculo de las llamadas no caídas se usa el complemento de estas las: llamadas caídas (llamadas terminadas sin el consentimiento del usuario) como se muestra en la ecuación 3.1.

$$\text{Retenibilidad} = \text{Llamadas no caídas (\%)} = 1 - \text{Llamadas caídas (\%)} \quad (\text{Ec. 3.1})$$

El porcentaje de llamadas caídas, Dropped call rate en inglés, a nivel de celda es definido como el número de caída de llamadas en la celda dividido entre el número total de llamadas finalizadas (ya sea por el usuario o por caída) en la celda.

$$\text{Llamadas caídas (\%)} = \frac{\text{Llamadas caídas Totales}}{\text{Llamadas Totales}} \quad (\text{Ec. 3.2})$$

Por tanto reemplazando Ec 3.2 en Ec 3.1 y despejando notamos que,

$$\begin{aligned} \text{Retenibilidad} &= 1 - \frac{\text{Llamadas caídas Totales}}{\text{Llamadas Totales}} \\ &= \frac{\text{Llamadas totales} - \text{Llamadas caídas Totales}}{\text{Llamadas totales}} \end{aligned} \quad (\text{Ec. 3.3})$$

Es por ello que para el tratamiento del KPI de retenibilidad es importante la reducción de las llamadas caídas, siendo que menor sea el número de llamadas caídas, o el porcentaje de estas, mejor será la retenibilidad.

Desde el punto de vista del usuario, la retenibilidad es la capacidad de que una vez establecida una llamada, está llamada prosiga durante el tiempo que el usuario requiera (sea por su propio interés o regulaciones del servicio) hasta que sea finalizada.

Desde la perspectiva de los operadores de redes móviles para garantizar una alta retenibilidad es deseable el menor porcentaje posible de caídas de llamada, es decir, que todas la llamadas iniciadas sean completadas sin ninguna interrupción del servicio que es proveído, de tal manera que las celdas servidoras interactúen exitosamente entre sí al momento que el Handover sea requerido. Durante el proceso de Handover, el cual ocurre en el borde de cobertura entre celdas, la llamada corre el riesgo de caerse.

Al igual que en accesibilidad la definición de retenibilidad aplica tanto para llamadas de voz, como para llamadas de video y datos que también comparten los recursos de radio de una red WCDMA/HSPA, contando cada una con indicadores medibles para determinar la calidad de los diferentes servicios. Estos indicadores se definen con ecuaciones más adelante en este capítulo.

3.2 Handover en redes WCDMA/HSPA

3.2.1 Handover y sus tipos

Para mantener la movilidad en una red Móvil es necesario el traspaso de servicio que se brinda a un UE de una celda a otra, para mantener la conexión en tanto el usuario así lo necesite. Este traspaso se le conoce como Handover (HO) y sucede cuando los niveles medidos por el UE en el canal P-CPICH (RSCP y E_c/N_o) están por debajo de cierto umbral, de acuerdo a los parámetros configurados en la RNC.

Existen varios tipos de Handover a continuación mencionamos los más usados:

Soft Handover: En este el UE mantiene una conexión durante la llamada a más de una celda simultáneamente, es el traspaso de celdas correspondientes a diferentes Nodos B.

Softer Handover una conexión durante la llamada a más de una celda simultáneamente, es el traspaso de una celda a otra que se encuentra en el mismo Nodo B.

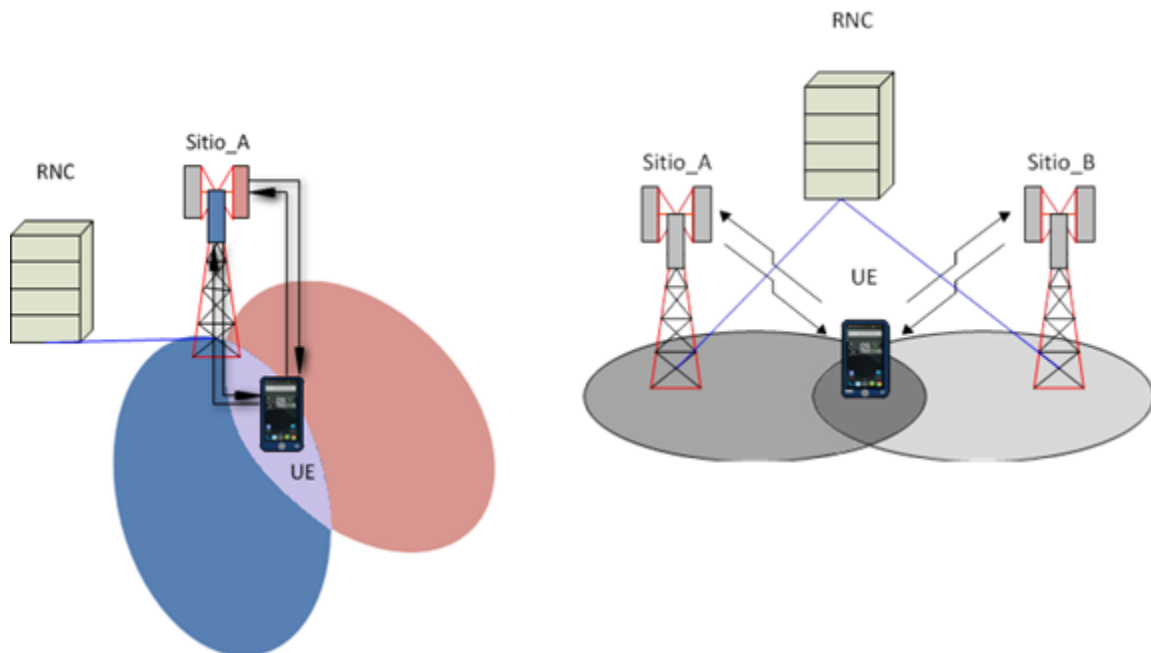


Figura 3.1 Softer Handover (derecha) & Soft Handover (izquierda).

En Soft HO el UE mantiene conexión mediante al menos dos radioenlaces correspondientes a nodos diferentes, y en Softer HO pertenecen al mismo nodo. De esta manera el UE en el Active Set (se define posteriormente) se incluyen diversos tipos de radioenlaces establecidos. De estos al menos un radioenlace es usado para mantener la conexión y ejecutar el control de potencia. A medida que el UE se desplaza los radioenlaces son removidos y/o añadidos, pero en este proceso no se interrumpe el flujo de datos. Las señales recibidas por el UE son combinadas en el RAKE receiver (receptor usado para combinar componentes múltiples componentes de señal, defasados por lo general por multitrayectoria o macrodiversidad).

Gracias al uso de Soft & Softer HO con control de potencia todas las celdas pueden hacer uso de la misma frecuencia. El UE y la RAN deben lograr que las conexiones tengan la suficiente SIR (Signal-to-Interference Ratio) aun cuando el UE se encuentra al borde de cobertura de una celda. Por medio del Soft & Softer HO el UE saca provecho al tener varios radioenlaces simultáneos, ver Figura 3.1. Igualmente la red obtiene beneficios, dado que los valores de potencia de transmisión UL del UE son reducidos mediante el control de potencia, según la posición del UE y los niveles medidos, y así se reduce la interferencia UL.

En la Figura 3.1 se puede apreciar en la representación del Soft HO que si el UE se encuentra en el borde de cobertura del Sitio_A necesitaría aumentar la potencia de transmisión en UL causando interferencia en el Sitio_B. Dado el Soft & Softer HO esto no es así debido a que no se necesita tanta potencia por el UE ya que la potencia es controlada por ambas celdas de ambos sitios.

Sin embargo en un escenario donde el UE llega a un área de cobertura de una celda a la cual no ha sido ordenado para medir, habrá mucha interferencia para el resto de usuarios de esa celda. Para evitar esto, de acuerdo con 3GPP, el UE reporta esta celda como una celda detectada. Si dicha celda detectada es imposible de añadirse al Active Set, será considerado al UE como una causa de interferencia y la conexión de este será terminada, evitando así que permanezca en dicha área de cobertura de la celda sin control de potencia por parte de la misma celda.

IFHO: Inter Frequency Handover. Es el traspaso entre celdas, pero con frecuencias diferentes. Sucede entre la cobertura de frecuencia de una WCDMA RAN y otra. Ejemplo de este ocurre comúnmente en redes con doble portadora.

Inter-RAT Handover: El traspaso de una celda de cobertura WCDMA RAN a una celda de cobertura GSM o LTE.

Service Based Handover: Este tipo de traspaso se implementa para forzar que el UE en el dominio de WCDMA RAN se pase a GSM, para hacer uso del servicio de una llamada de voz. Se usa exclusivamente para el servicio de llamada de Voz. Esta función es activada a nivel de RNC.

CNHO: Core Network Hard Handover. Soporta ambos traspasos Intra e Inter Frequency Hard Handover a una celda en otra RNS (Radio network Subsystem), en la cual la RNC no tiene ninguna conexión lur, cuando el UE está utilizando nada más el servicio de Voz.

Movilidad en HSDPA: El concepto de movilidad está basado en que la asignación del canal HS-DSCH para cierto UE proviene de una sola celda asignada para ese UE. El radioenlace que mantiene el servicio mediante el canal HS-DSCH se conoce como el “*radioenlace servidor HS-DSCH*”. La celda asociada al radioenlace servidor HS-DSCH se conoce como “*celda servidora HS-DSCH*”. El propósito en la movilidad HSDPA es manejar el cambio de celda servidora HS-DSCH a medida que el UE se desplaza. En la conexión también se emplean A-DCHs (Associate DCH: DCH asociado al HS-DSCH) los cuales son controlados por Soft/Softer HO de la manera previamente mencionada.

En esta movilidad también se contempla una reconfiguración de HS-DSCH hacia DCH en los casos que el cambio de celda servidora HS-DSCH no pueda ser ejecutado, o de haber baja cobertura.

Todos estos handover consisten en una parte evaluatoria y una ejecutora. La parte evaluatoria inicia y evalúa las mediciones del UE en las celdas vecinas. La parte ejecutora, provocada por los resultados de la parte evaluatoria, asigna recursos y ejecuta el Handover que sea necesario. [13, pp. 3-6]

3.2.2 Medición de Celdas

En la evaluación y medición de la calidad de la celda servidora, la medición usada para Soft/Softer HO, IRAT HO, CNHHO, puede ser P-CPICH Ec/No o P-CPICH RSCP. El sistema es configurado por defecto para usar P-CPICH Ec/No como la medida para Soft/Softer HO e Intra Frequency CNHHO. Para IFHO incluyendo CNHHO y IRAT HO la calidad de conexión es monitoreada por ambas P-CPICH Ec/No y RSCP en DL, y por la potencia de Transmisión del UE en el UL.

En el control de las mediciones, las celdas en WCDMA RAN desde el punto de vista del UE son divididas en diferente “sets” mutuamente excluyentes definidos por la 3GPP. Los cuales son:

Active set las celdas que están involucradas en el proceso de Soft/Softer HO y son medidas por el UE. Son de una a tres celdas con mejores niveles de señal.

Virtual Active Set es el Active Set asociado con una frecuencia que no está siendo usada en el momento, para la evaluación requerida en el uso de IFHO.

Monitored Set las celdas que son medidas por el UE y no son parte en ese momento del Active Set.

Detected set las celdas detectadas por el UE que no pertenecen ni al Active Set ni al Monitored Set.

Las celdas que el UE tiene ordenado medir son mostradas en el Active Set y el Monitored Set. Al UE se le ordena medir si está en el área de cobertura de una celda y a aquellas celdas que son definidas como vecinas de dicha celda. [13, p. 15]

3.2.3 Configuración de celdas adyacentes “Vecindades”

La configuración de vecindades que son celdas adyacentes es necesaria para el proceso tanto de HO como de reelección de celdas. Las celdas vecinas que son adyacentes a otras son definidas en base a los planes de handover. Existen tres tipos de celdas adyacentes que pueden ser definidas:

Intra-Frequency. Cualquier celda puede tener definidas hasta 31 relaciones de vecindad intra-frequency. Cada relación está dada por un par de celdas, Source (Fuente) y Target (Destino). La celda source mantiene la relación con la target. Así cuando el UE mide una celda source en el Active Set, toda celda target será considerada a medirse dentro del Monitored Set por ser una vecina.

Inter-Frequency. Cualquier celda puede tener definidas hasta 32 celdas adyacentes de Inter-frequency como vecinas. Las mismas consideraciones de source y target aplican, con la salvedad que el par pertenece a diferentes frecuencias.

IRAT. Cualquier celda puede tener definidas hasta 32 celdas adyacentes como vecinas en IRAT. De igual forma las consideraciones de source y target se mantienen, pero en este caso el par de celdas pertenecen a diferentes tecnologías de acceso.

Antes que el UE realice mediciones de las celdas vecinas se define una lista a las cuales tiene permitido medir para formar parte del Monitored Set. Esta lista es una combinación de vecinas de las celdas que se encuentran en el Active Set. El número máximo de esta lista es de 31 por tanto no todas las vecinas de las celdas del Active Set podrán ser admitidas. Para esto existe el parámetro de *prioridad* llamado *selectionPriority* que se configura a cada vecina, el cual ayuda a la formación de dicha lista. La lista se llena con las vecinas de las celdas en base a la prioridad de menor a mayor, en el caso de repetirse una vecina más de una vez solo se considera la primera vez que apareció en la lista. Cuando está definida esta lista serán admitidas en el Monitored Set aquellas seis celdas con los mejores niveles de señal. [13, pp. 18,19]

3.2.4 Eventos para HO en redes WCDMA/HSPA

La evaluación para la ejecución del handover, así como las celdas que conforman el Active Set, se dan mediante la decisión en base a las mediciones reportadas por el UE, las cuales se catalogan como Eventos. Para luego informarle a la RNC de estos eventos.

Los eventos 1X son los que se ocupan en Soft/Softer HO.

Evento 1A: Una CPICH primaria entra en el rango de informe. Se añade un radioenlace al active set. Observar Figura 3.2, los parámetros configurados en la RNC involucrados para el informe de este evento son: Margen 1a (reportingRange1a) que define el límite de potencia para que un radioenlace entre en el Active Set; Histéresis 1a (Hysteresis1a) es un umbral del Margen 1a; el tiempo de activación 1a (timeToTrigger1a) que es el tiempo que debe pasar una vez que la CPICH de un radioenlace haya superado la suma de Margen 1a más la mitad de la Histéresis 1a, para ser admitido en el Active Set.

Evento 1B: Una CPICH primaria sale del rango de informe. Se elimina un radioenlace del active set. Observar Figura 3.2, los parámetros configurados en la RNC involucrados para el informe de este evento son: Margen 1b (reportingRange1b) que define el límite de potencia para que un radioenlace sea retirado del Active Set; Histéresis 1b (Hysteresis1b) es un umbral del Margen 1b; el tiempo de activación 1b (timeToTrigger1b) que es el tiempo que debe pasar una vez que la CPICH de un radioenlace haya disminuido el valor de la suma de Margen 1b más la mitad de la Histéresis 1b, para ser eliminado del Active Set.

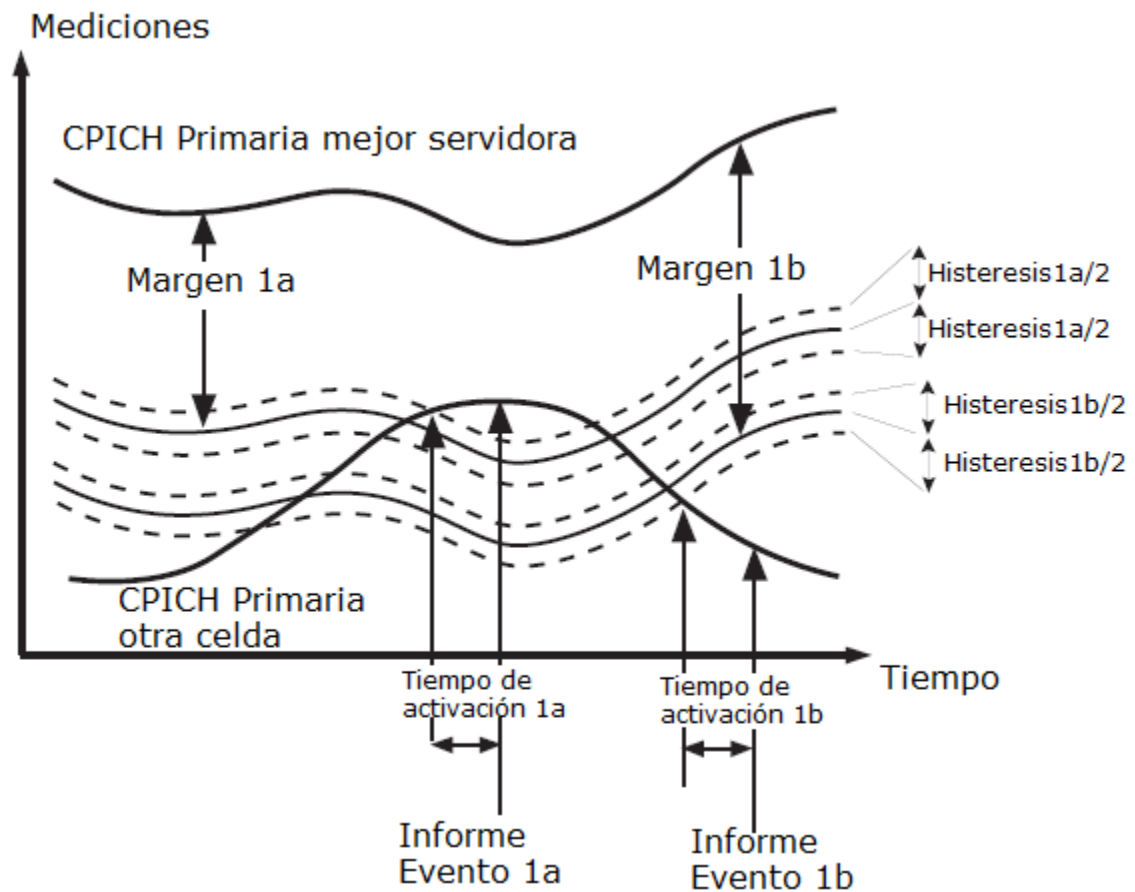


Figura 3.2 Informe de eventos 1A y 1B.

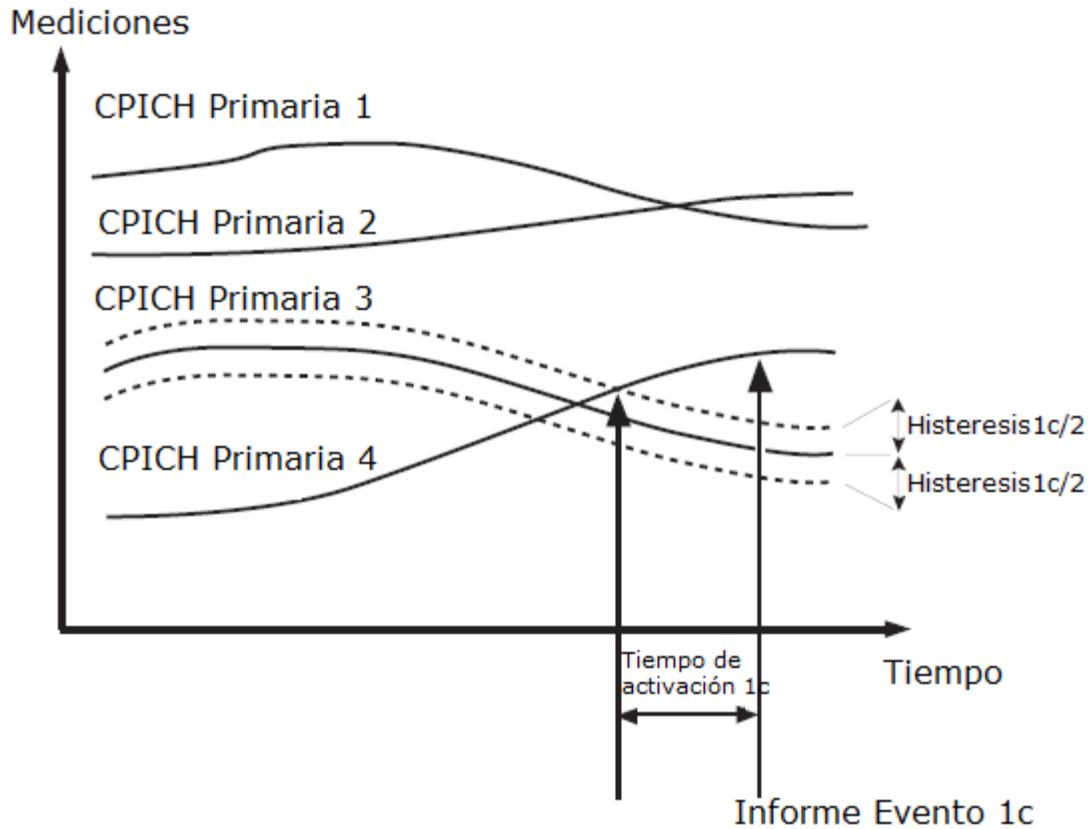


Figura 3.3 Informe eventos 1C.

Evento 1C: Una CPICH primaria que no está en el active set llega a ser mejor que un CPICH primaria del active set. Se sustituye la peor celda en el Active Set. Observar Figura 3.3, los parámetros configurados en la RNC involucrados para el informe de este evento son: Histéresis 1c (*Hysteresis1c*) es un umbral del nivel de la CPICH de la celda más débil en el Active Set; el tiempo de activación 1c (*timeToTrigger1c*) que es el tiempo que debe pasar una vez que la CPICH de un radioenlace haya superado la suma del nivel de la CPICH de la celda más débil en el Active Set más la mitad de la Histéresis 1c, para ser que el radioenlace sustituya al radioenlace más débil.

Evento 1D: Cambio de celda, la mejor celda medida se encuentre en el active o monitored set reemplaza la mejor celda actualmente definida en el Active set. Observar Figura 3.4, los parámetros configurados en la RNC involucrados para el informe de este evento son: Histéresis 1d (*Hysteresis1d*) es un umbral del nivel de la CPICH de la mejor celda en el Active Set; el tiempo de activación 1d (*timeToTrigger1d*) que es el tiempo que debe pasar una vez que la CPICH de un radioenlace haya superado la suma del nivel de la CPICH de la mejor celda en el Active Set más la mitad de la Histéresis 1d, para ser que el radioenlace reemplace y pase a ser la mejor celda de Active Set. [11]

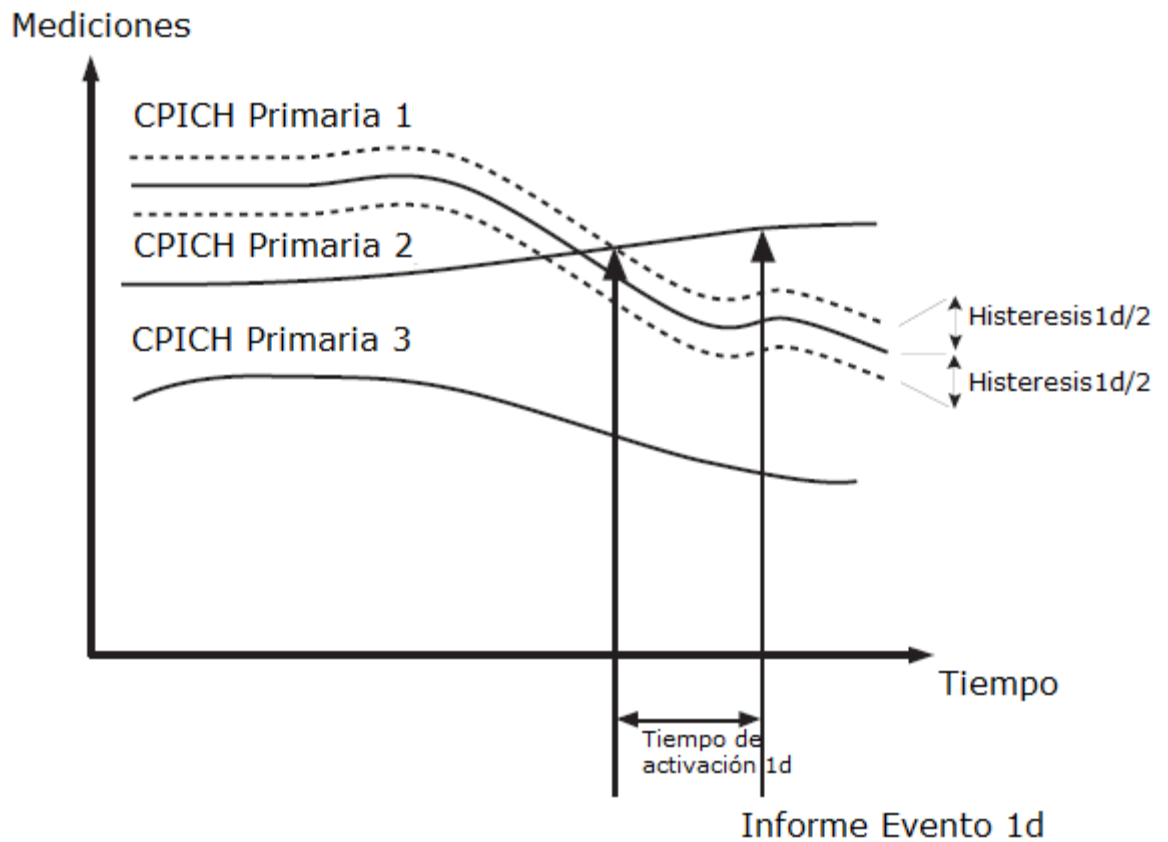


Figura 3.4 Informe eventos 1D.

Estos no son los únicos eventos que suceden en WCDMA/HSPA, aunque los demás ocurren de manera similar. Más información al respecto de la causa de origen del resto se encuentra en anexos.

3.3 Contadores Estadísticos

El cálculo del estándar KPI para retenibilidad toma en consideración el porcentaje de caída de llamadas (refiérase ecuación 3.1). Los contadores estadísticos empleados para el cálculo del porcentaje de llamadas caídas son colectados mediante la base de Datos del sistema ubicada en el Core denominado ENIQ y que para la versión W11 (sistemas Ericsson) está dada por [8, pp. 14,20]:

Para servicios CS, <RAB>= VOZ

$$Sp_R_D = 100[\%] \times \frac{pmNoSystemRabReleaseSpeech}{pmNoNormalRabReleaseSpeech + pmNoSystemRabReleaseSpeech} \quad (\text{Ec. 3.4})$$

Para servicios CS, <RAB>=CS64, Video

$$CS64_R_D = 100[\%] \times \frac{pmNoSystemRabReleaseCS64}{pmNoNormalRabReleaseCS64 + pmNoSystemRabReleaseCS64} \quad (\text{Ec. 3.5})$$

Para servicios CS, <RAB>=CS57, Streaming

$$CS57_R_D = 100[\%] \times \frac{pmNoSystemRabReleaseCsStream}{pmNoNormalRabReleaseCsStream + pmNoSystemRabReleaseCsStream} \quad (\text{Ec. 3.6})$$

Para servicios PS, <RAB>=Interactive DCH/FACH

$$PintDCH_R_D = 100[\%] \times \frac{A}{B} \quad (\text{Ec. 3.7})$$

Donde,

$$A = pmNoSystemRabReleasePacket - pmNoSystemRabReleasePacketUra - pmNoSystemReleaseHS \quad (\text{Ec. 3.8})$$

$$B = pmNoSystemRabReleasePacket - pmNoSystemRabReleasePacketUra + pmNoSystemRabReleasePacket - pmNoSystemRabReleasePacketUra - pmNoNormalRBReleaseHs - pmNoSystemRbReleaseHs + pmNoSuccRbReconfOrigPsIntDch + pmCHSwitchSuccFachUra + pmUpSwitchFachHsSucces + pmChSwitchSuccDchUra \quad (\text{Ec. 3.9})$$

Para servicios PS, <RAB> =Interactive HS

$$P_{intDCH_R_D} = 100[\%] \times \frac{pmNoSystemRbReleaseHs}{B} \quad (\text{Ec. 3.10})$$

Donde,

$$B = pmNoNormalRbReleaseHs - pmNoSystemRbReleaseHs \\ - pmNoSuccRbReconfOrigPsIntDch \\ + pmUpSwitchFachHsSucces + pmChSwitchSuccDchUra \quad (\text{Ec. 3.11})$$

3.4 Principales causas de Dropped Calls

Las principales causas de Dropped Calls en sistema 3G son [2, p. 20]:

- Definición Incorrecta de Vecindades (Missing Neighbors)
- Baja Cobertura
- Pilot Pollution
- Incorrecta configuración de Inter Frequency Handover
- Incorrecta Asignación de códigos
- Congestión
- Fallas de Hardware (Nodo B)
- Fallas de UE

3.5 Casos de Estudio

3.5.1 Caso de estudio Incorrecta definición de IFHO

El Handover en WCDMA de redes basadas en sistemas Ericsson, como se ejemplifica en este caso de estudio, depende además de las mediciones ejecutadas entre las servidoras de un parámetro llamado hoType, el cual se configura para cada celda. Mediante este parámetro se define el tipo de HO a ejecutarse por parte de cada celda (ya sea IFHO, IratHO o ninguno)

En redes con segunda portadora como el ejemplo tratado en este caso, ver Figura 3.5 (imagen obtenida de la interfaz de Actix) las portadoras se despliegan a frecuencias diferentes (F1 y F2 por ejemplo) y es común configurar el hoType de la primera portadora F1 hacia la segunda para mantener la llamada y balancear el tráfico.

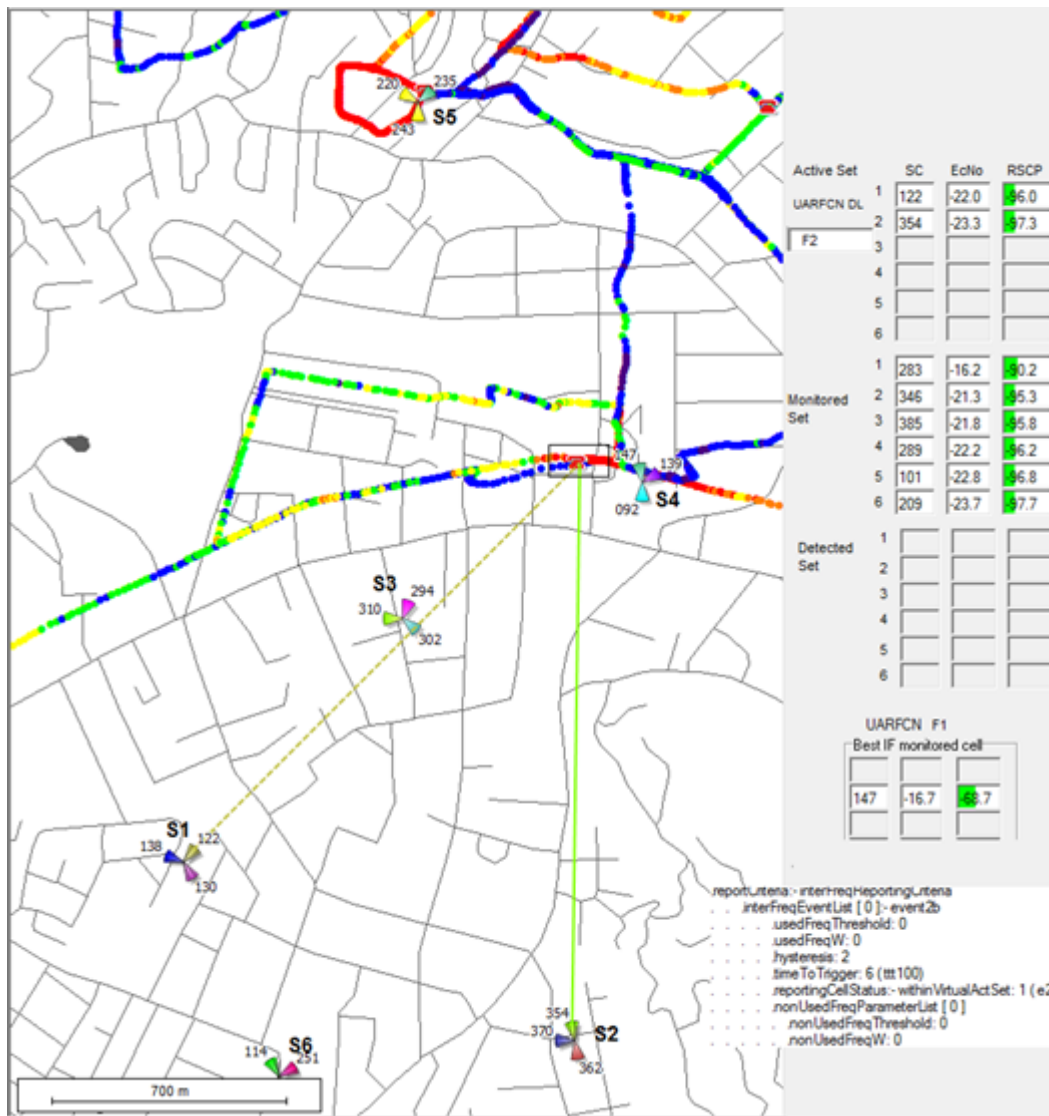


Figura 3.5 Baja cobertura por incorrecta configuración de HOtype.

En la Figura 3.5 con el uso de monitores de la herramienta de análisis se puede notar que la llamada es llevada en SoftHO por las celdas S1_SC:122 y S2_SC:354 pertenecientes a la segunda portadora F2. Esto es así dado que en cierta parte del recorrido se ha transferido la llamada desde F1 a F2 por medio de un IFHO.

Se ha registrado también un evento de caída de llamada, el cual de ser recurrente afecta la retenibilidad. El problema con el cual se da la caída de llamada es por baja cobertura puesto que los niveles de las celdas en F2 se han degradado al punto de no poder sostener más la llamada. Pero el IFHO hacia F1 no es ejecutado a pesar de haber sido reportado el evento 2b (la calidad de la frecuencia actual se ha degradado y se requiere IFHO, más información en anexos), y se medida la celda S4_SC:147 con mejores niveles aptos para tomar la llamada en curso.

Este comportamiento apunta a que el parámetro hoType en segunda portadora está mal configurado. En este ejemplo, mediante la revisión del parámetro en las configuraciones por celda en la red apoyándonos con Excel a partir de un archivo exportado del OSS (Operation Support System), ver Figura 3.6, se ve que está configurado para ejecutarse desde F2 un Irat HO hacia GSM, pero al carecer de cobertura de esta tecnología no se ejecutó el HO y la llamada resultó en una caída.

Lo recomendable en redes con dos portadoras en WCDMA es configurar todas las celdas con IFHO habilitado para que la llamada pueda fluir entre F1 y F2. Esta recomendación no aplica en las celdas que se encuentran en borde de cobertura WCDMA y GSM, en donde debe configurarse Irat HO habilitado para que las llamadas a fin de no perder la cobertura sean y recepcionadas por otra tecnología de acceso al medio.

Parameter Name	Valid Values
hoType	IFHO_PREFERRED = 0 GSM_PREFERRED = 1 NONE = 2

UtranCell	hoType	Old Value
S4_SC:147	1	

Figura 3.6 Configuración de hoType en el Sistema.

3.5.2 Caso de estudio Missing Neighbors

En la Figura 3.7 (imagen obtenida de la interfaz de Actix) que se muestra a continuación se aprecia una caída de llamada entre los sitios S1 y S2 a causa de una incorrecta definición de vecindades.

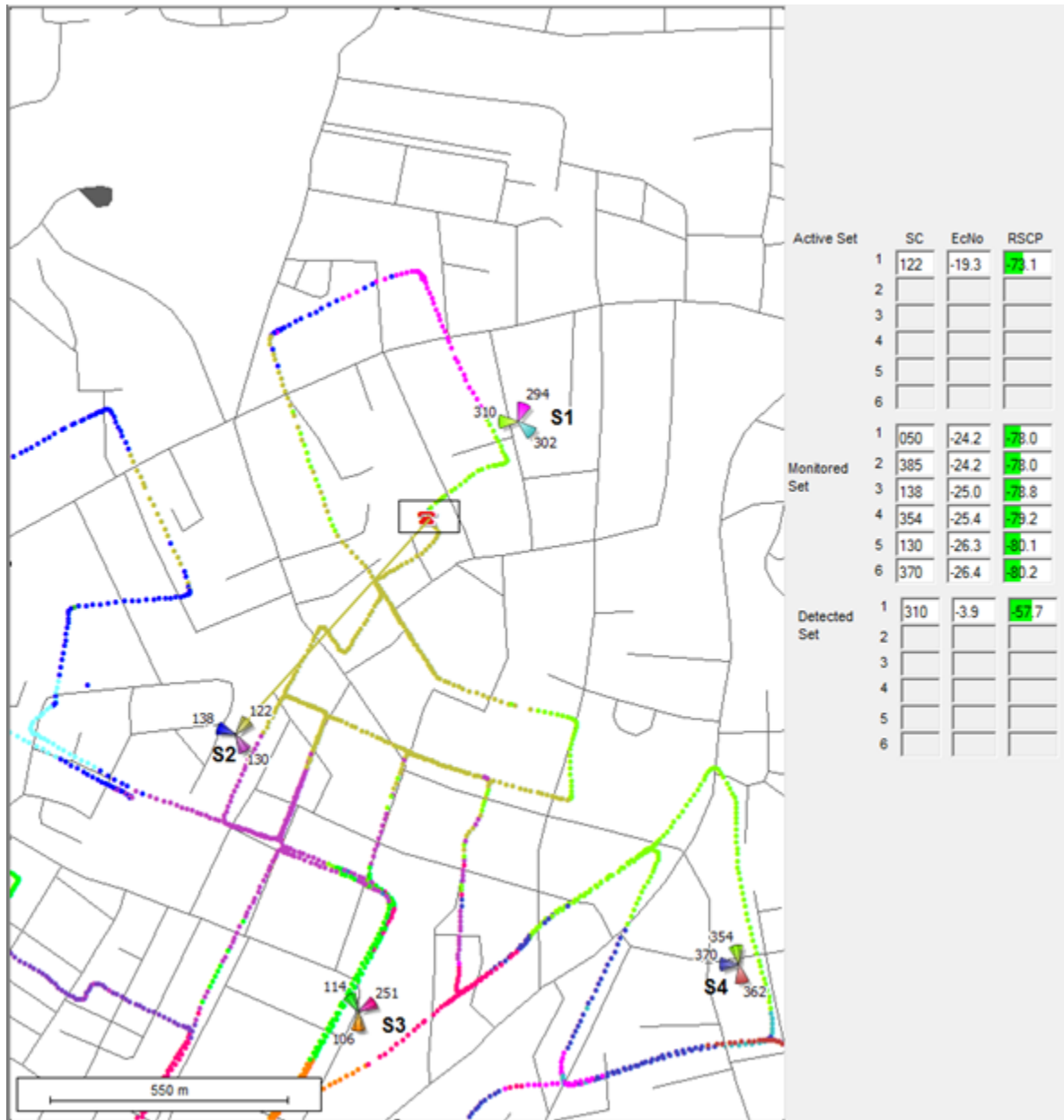


Figura 3.7 Incorrecta asignación de vecinas.

La caída de llamada ocurrió mientras la celda servidora era el sector S2_SC:122, dado que no pudo continuar con el proceso de HO debido a que la celda vecina no estaba declarada, entonces la red terminó la llamada por una “vecina perdida”. En el monitor a la derecha se aprecia como la vecina perdida en cuestión es la celda S1_SC:310, la cual se registra con mejores niveles de RSCP CPICH y EcNo CPICH que cualquier celda servidora o vecinas definidas monitoreadas. Para garantizar un correcto control de potencia y evitar la interferencia en la celda S1_SC:310 la llamada es terminada por la red.

Es notorio deducir por las mediciones registradas en el recorrido que es una relación de vecindades que debería de existir y por lo tanto debe definirse para resolver esta caída.

Sin embargo hay otros elementos que ayudan a determinar que en efecto es una relación a ser definida:

- Geográficamente son celdas cuya área de cobertura coinciden directamente una al frente de la otra.
- Mediciones extraídas de la red, Figura 3.8, muestran una cantidad considerable de intentos de adición de un radioenlace hacia dicha celda.

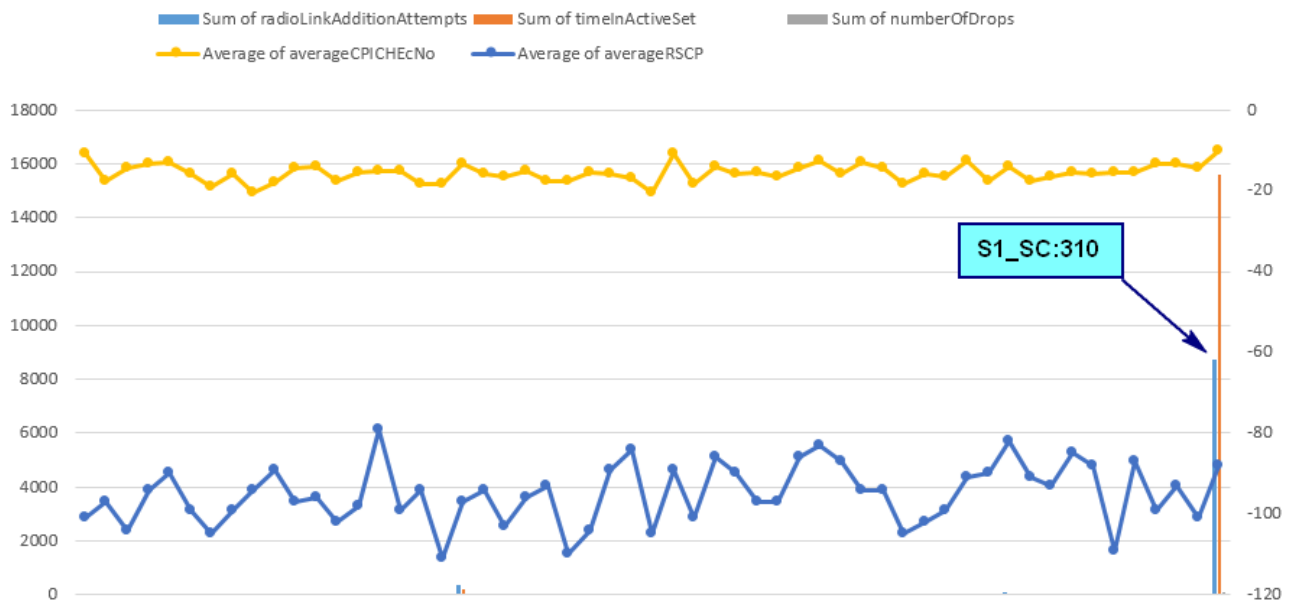


Figura 3.8 Gráfica de reportes de medición desde la celda S2_SC:122.

3.5.3 Caso de estudio Discontinuidad

A continuación en la Figura 3.9 (imagen obtenida de la interfaz de Actix) se presenta un escenario en donde existe una discontinuidad en la cobertura con las celdas implementadas, lo cual hace imposible que se lleve a cabo el proceso de HO de una celda hacia la próxima más cercana.

En la Figura 3.9 se aprecian dos caídas de llamadas, ambas producto de los bajos niveles de señal con los cuales la llamada no puede ser sostenida. En la figura las zonas de color negro indican niveles por debajo de la leyenda configurada, es decir niveles de RSCP_CPICH menores a -120 dBm; y las zonas vacías entre un tramo de recorrido y otro son zonas sin servicio. En ambas caídas se aprecian los niveles bajos de la zona dado que las celdas servidoras se encuentran demasiado distantes unas a otras para dar continuidad de servicio con niveles aceptables, al menos, para conducir la llamada.

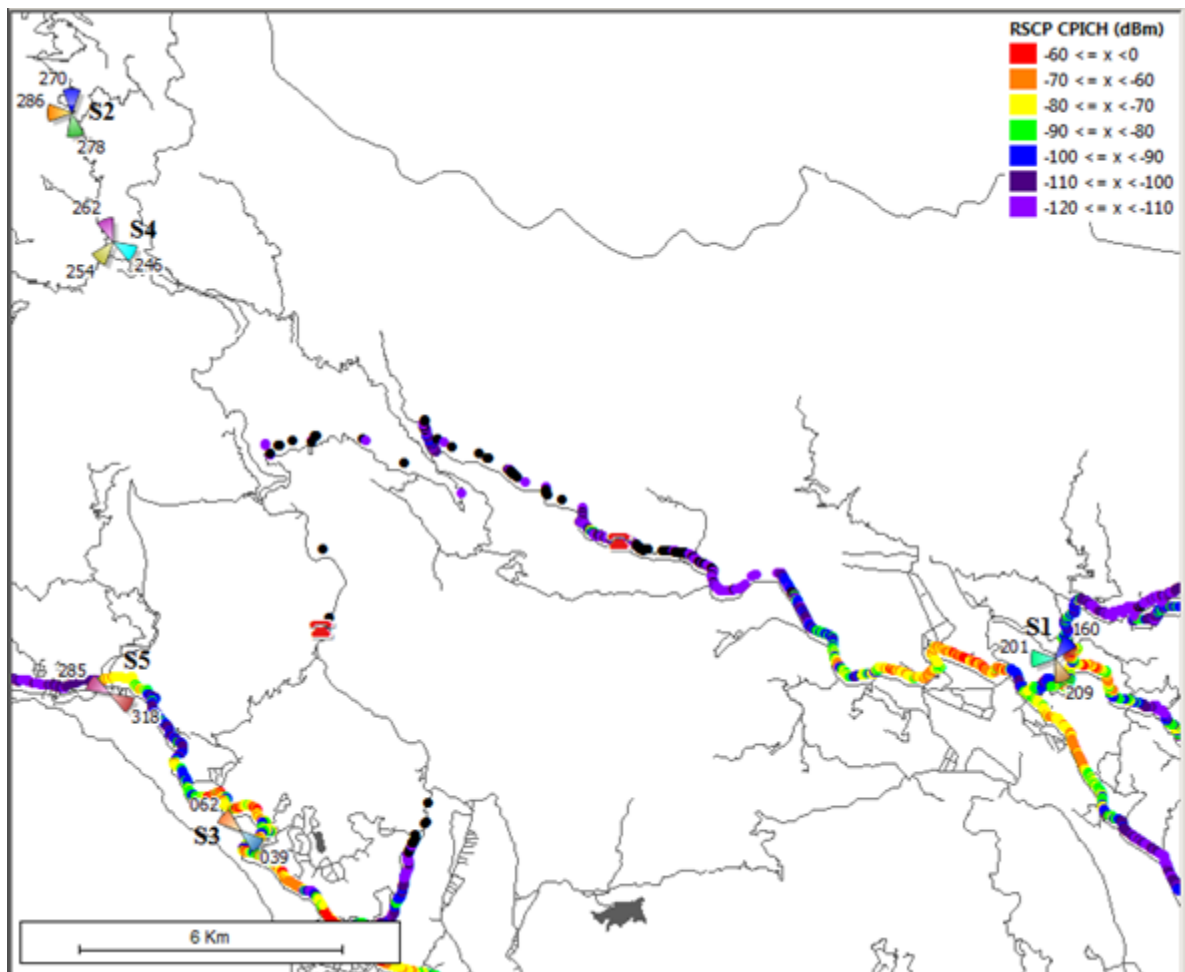


Figura 3.9 Discontinuidad de Servicio.

Es requerido en estos casos la implementación de nuevos sitios y/o celdas para ampliar la cobertura. En los sitios S3 y S5, una tercera celda mejoraría la cobertura en la zona de la caída. En el caso de la otra caída nuevos sitios entre los sitios S1 y S5 son requeridos para garantizar la nueva cobertura.

3.5.4 Caso de Estudio Incorrecta asignación de códigos

Como se había especificado anteriormente la incorrecta asignación de códigos es un problema en las redes WCDMA/HSPA el cual puede contribuir a la degradación de la retenibilidad, ya que propicia la aparición de llamadas caídas en las áreas donde existe tal problema.

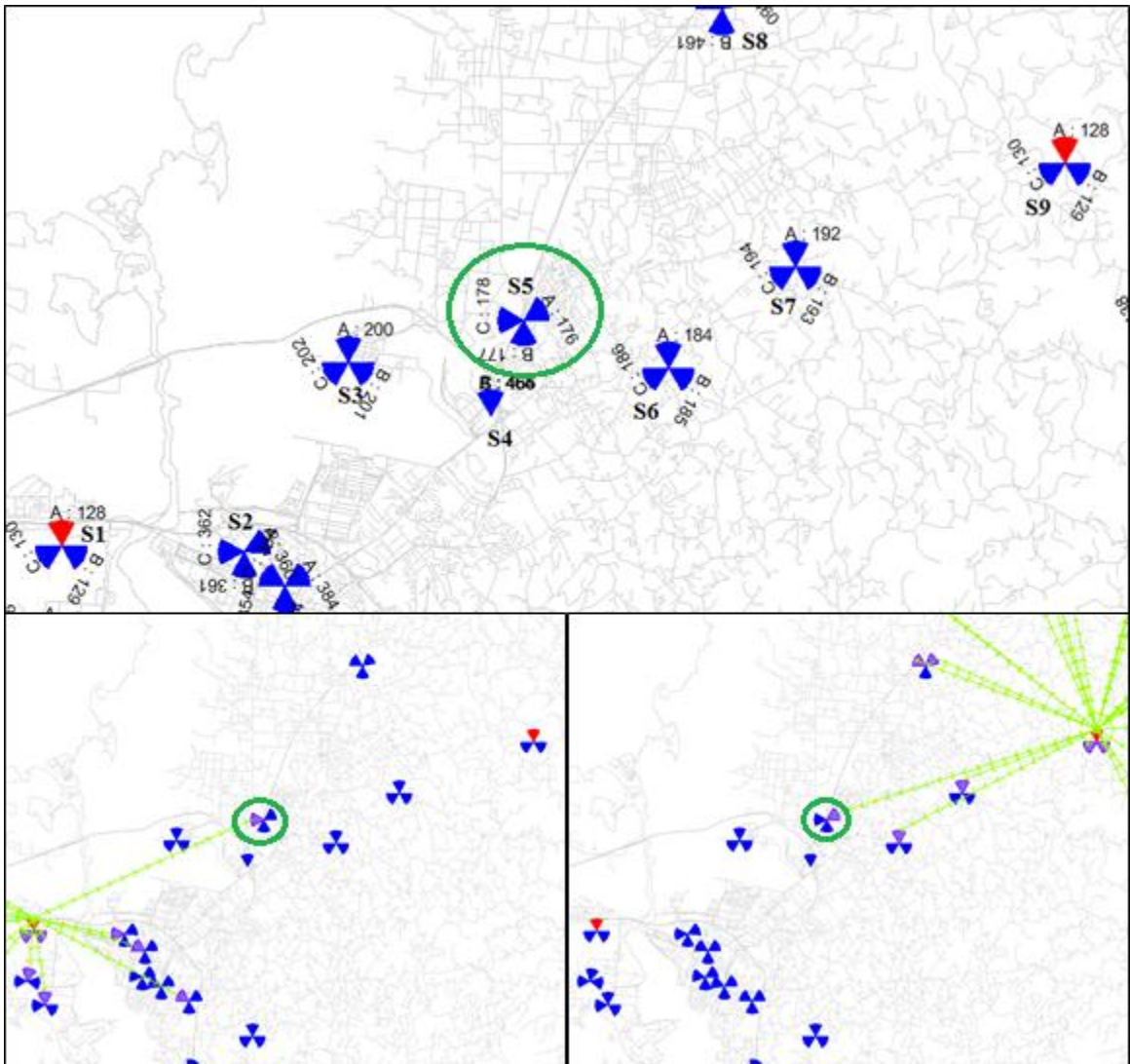


Figura 3.10 Incorrecta Asignación de códigos

En este caso se abarca un escenario, ver Figura 3.10 (imagen obtenida de la interfaz de Xeus), donde se ejemplifica una zona en donde el reuso de un mismo código, Scrambling Code. Se da en celdas de un segundo anillo de vecinas respecto al sitio S5. Al compartir el mismo código puede causar interferencia y problemas de HO, además que se encuentran a una distancia aproximada de 10 km entre ellas la cual es bastante pequeña, considerando la cantidad de códigos disponibles (512).

En el escenario mostrado en la parte superior de la Figura 3.10 las celdas S1_A y S9_A tienen el mismo código asignado (SC: 128) y a su vez son vecinas de las celdas A y C del sitio S5, respectivamente, a como se ve en la parte inferior de la figura. Por tanto, una llamada que se lleva a cabo en la cobertura del sitio S5 puede mantener un Softer HO entre sus celdas co-site A y C, y las celdas vecinas ordenadas para medir por el UE pasan a ser una combinación de vecinas de estas, que es donde se produce el problema de repetición de códigos puesto que dos celdas en la misma lista de vecinas (que será formada en la combinación) poseen el mismo SC. Es por ello entonces, que al momento de requerirse un Soft HO la RNC entra en conflicto.

Dados los 512 SC utilizables un escenario así se pensaría improbable, pero resulta muy posible por la falta de atención en la asignación de códigos. Numéricamente, se necesitan aproximadamente 170 sitios de 3 sectores en un radio de 10 km para que ocurra un reuso de esa manera. Por ello, resolver estos casos es una tarea bastante trivial de escoger una mejor asignación puesto que una densidad de sitios tan grande es muy poco probable, pero con la debida atención para evitar sobreestimar los recursos disponibles y dar por hecho que errores no pueden ocurrir.

3.5.5 Caso de Estudio llamada caída por Pilot Pollution

En este caso de estudio se presenta una llamada caída como parte de un recorrido en una zona con una densidad de sitios considerables. Como se aprecia en la figura 3.11 (imagen obtenida de la interfaz de Actix) al momento de la caída se registraron muchas celdas servidoras, hasta seis. También se puede ver en la parte inferior de la Figura 3.11 el flujo de la llamada con la mejor celda servidora mostrada por SC a manera de colores.

Se ve que en un breve transcurso de tiempo la mejor servidora varío múltiples veces, debiéndose a la cantidad de potenciales servidoras en la zona. Los niveles de señal de las celdas varían tan rápido que es difícil para la red dar seguimiento a cada una de estas variaciones para actualizar el Active Set en cada vez. Al punto que las veces que una celda en el Monitored Set es mejor que la mejor celda del Active Set es mayor a las veces que las celdas en el Active Set superan a las del Monitored Set, y la red considera esto como un problema de HO y da por terminada la llamada en curso.

Para dar solución a esta situación es necesario controlar la afluencia de señales con buenos niveles en una misma área hasta lo máximo a tres celdas servidoras. Se necesita entonces optimizar la cobertura de las celdas del área y asegurar que la cobertura de las celdas más cercanas sea la dominante.

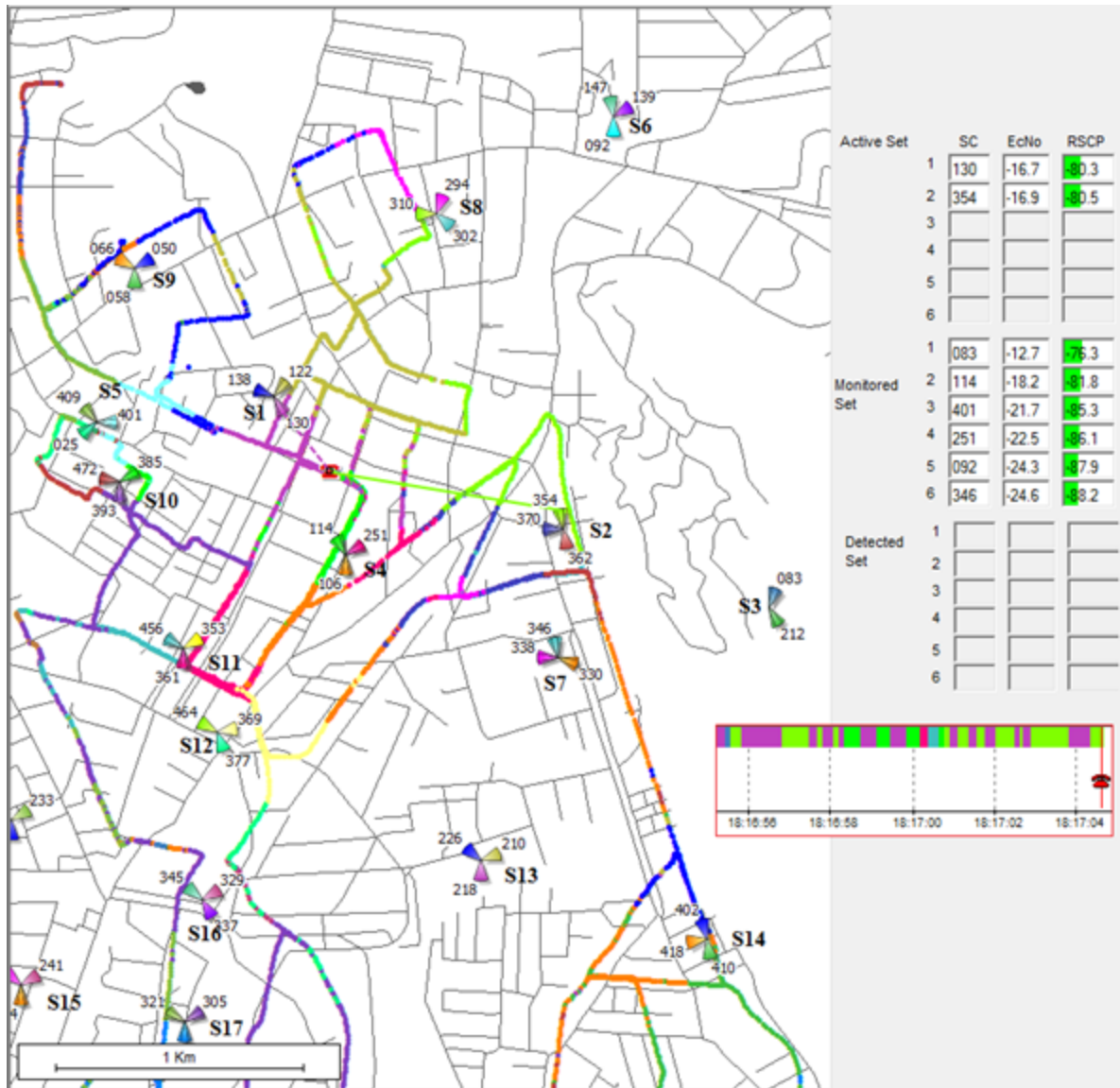


Figura 3.11 Evento de caída en un área con Pilot Pollution.

Resumen

En este capítulo se abordó la Retenibilidad, la cual es la probabilidad que un servicio, una vez obtenido, continúe siendo proveído el tiempo deseado en condiciones determinadas. Esto también se puede ver desde dos perspectivas el usuario que para él es la capacidad de que una vez establecida una llamada, está llamada prosiga durante el tiempo que el lo requiera. Y para el proveedor es que todas las llamadas iniciadas sean completadas sin ninguna interrupción del servicio que es proveído.

Para mantener la movilidad en una red Móvil es necesario el traspaso de servicio que se brinda a un UE de una celda con baja calidad medida hacia otra mejor para mantener la conexión, este traspaso se le conoce como Handover (HO). En la evaluación y medición de la calidad de la celda servidora, la medición usada para HO puede ser P-CPICH Ec/No o P-CPICH RSCP.

Existen varios tipos de HO los cuales son:

- Soft/Softer HO
- IFHO
- IRAT HO
- Service Based Handover
- CNHO
- Movilidad en HSPA

Para la correcta ejecución del HO es necesario la definición de celdas vecinas, las cuales son las celdas que serán medidas por el UE y hacia donde se ejecutará el traspaso una vez sea necesario.

Las principales causas de fallas de Acceso en sistemas 3G son:

- Definición Incorrecta de Vecindades (Missing Neighbors)
- Baja Cobertura
- Pilot Pollution
- Incorrecta configuración de Inter Frequency Handover
- Incorrecta Asignación de códigos
- Congestión
- Fallas de Hardware (Nodo B)
- Fallas de UE

Capítulo 4 Análisis de desempeño de Throughput en P.S.

4.1 Introducción

En este capítulo se aborda el Throughput el cual es un indicador de calidad exclusivo del servicio de las llamadas de datos.

El término Throughput está relacionado al indicador de Integridad para servicios basados en PS, Una vez obtenido un servicio la integridad del mismo representa la calidad experimentada por el usuario durante la sesión. Normalmente al medir esto desde el punto de vista del sistema, mediante el análisis estadístico de contadores, no se percibe adecuadamente la experiencia del usuario con la red, y por eso mediciones en campo son usadas, basadas en RBS y UE. El BLER es usado como un indicador de la integridad para servicios basados en CS [8, p. 6]

Se puede definir el Throughput como la cantidad de datos, considerando únicamente datos libres de errores, que son transferidos por unidad de tiempo, típicamente en segundos por ejemplo kbps (kilobits por segundo). [14, p. 33]

De similar definición al Throughput está el término data rate (velocidad de transmisión), ambos con iguales unidades de medida y denotan transferencia de datos por unidad de tiempo, con la diferencia que el Throughput solo cuantifica datos sin errores y el data rate contempla el total de datos que puede transferirse en un canal.

Un término comúnmente mal empleado para definir el máximo data rate es el Bandwidth (Ancho de banda) debido a su ambigüedad. Puesto que este último término es ocupado tanto en el campo de las comunicaciones inalámbricas en el cual es el ancho de banda, que es el rango de frecuencia que contiene la señal que es transmitida, medido en MHz, y el campo de las ciencias de la computación significa la capacidad que tiene un canal para transmitir información en bps o sus múltiplos (Kbps, Mbps, Gbps) [14, p. 33]. En este documento el término Bandwidth refiere a la medida en MHz, y en WCDMA en modo FDD tiene un valor de 5 MHz por portadora.

De esta manera el máximo data rate de la red depende del esquema de modulación empleado en la celda siendo el más alto 336-657 Mbps para R11 en el Downlink y 70 Mbps en el Uplink. Es así que a pesar de diferentes data rates, en la red siempre existe un solo Bandwidth de 5 MHz, a excepción que multiportadora sea usada con la cual se puede combinar el ancho de banda de cada portadora para lograr ser percibido un ancho de banda de hasta 20 MHz (4-portadoras) [5, p. 5]

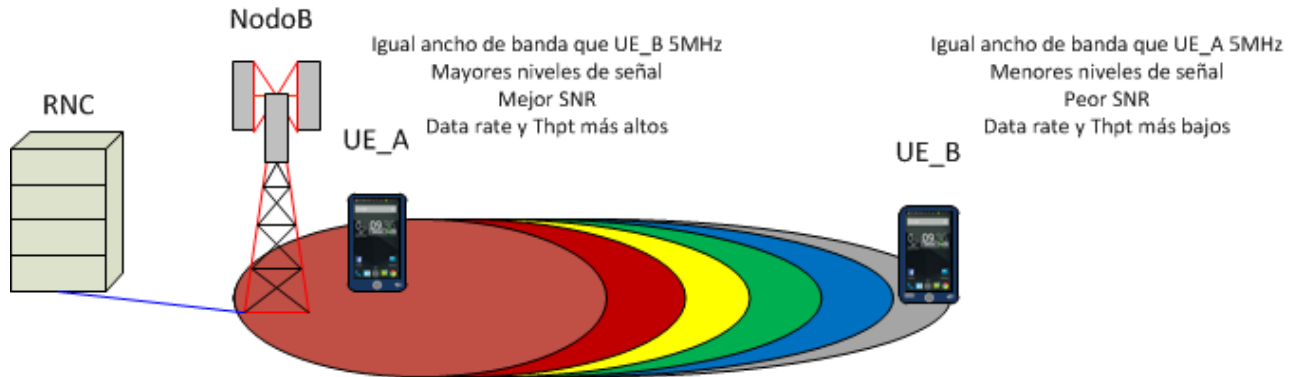


Figura 4.1 Bandwidth, Data rate y Throughput a diferentes distancias del NodoB.

Un ejemplo que es de utilidad para comprender la diferencia entre bandwidth y data rate es el siguiente, véase Figura 4.1: En una red WCDMA con una sola portadora el bandwidth de esta es 5MHz, así que cualquier usuario gozará de los servicios de la red en un espectro de frecuencias que se extiende a 5 MHz independientemente de donde esté situado. Es decir, tanto un usuario A en el área de cobertura cercana de una celda como el usuario B al borde de cobertura harán uso del ancho de banda en sistemas WCDMA (5MHz). Al contrario de este bandwidth que es fijo el data rate no lo es, dado que el usuario A percibe una mejor cobertura y mayor intensidad de señal, es decir un mayor SNR (Signal to Noise Rate, relación señal a ruido), y el usuario B con menor cobertura tendrá menor SNR. Como el data rate máximo de un canal, análogamente la capacidad del canal, está vinculado a la SNR por el teorema de Shannon

$$C = W \log_2(1 + SNR) \quad (\text{Ec. 4.1})$$

el usuario B solo podrá alcanzar un data rate máximo menor al de A. De igual manera que el data rate el throughput es afectado.

Un término muy importante a ser considerado en el análisis del Throughput en una red móvil es el de carga de tráfico, la cual es la carga usada en los servicios, en este caso de datos. Quien genera la carga es el usuario puesto que es quien da uso de los servicios que provee la red, así una red sin usuarios activos es una red sin carga.

Pueden haber diferentes tipos de Throughput dependiendo del punto de vista desde donde este sea medido, así desde la perspectiva del usuario se tiene el “*user throughput*” y desde la perspectiva de la celda se tiene el “*cell throughput*”.

El cell throughput está relacionado a la carga de tráfico en la celda puesto que una celda sin carga no existe transferencia de datos, el Throughput es nulo, o sea, el cell throughput depende de la carga y aumenta a medida que la carga de tráfico aumenta, siendo el límite máximo posible de dicho aumento la capacidad del canal.

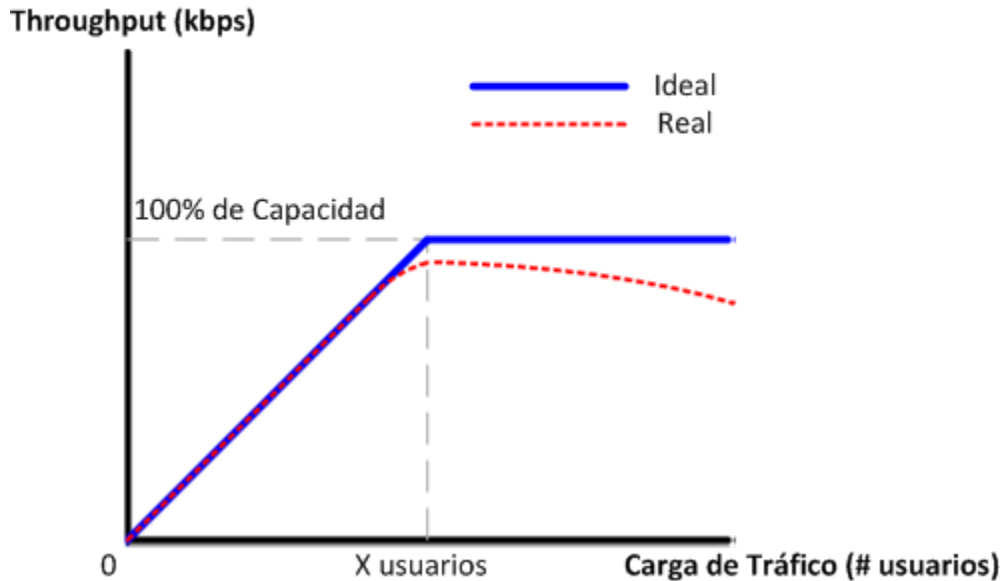


Figura 4.2 Throughput vs Carga de tráfico.

Sin embargo el máximo posible no es alcanzable en la realidad dado que el Throughput también depende de los métodos de acceso al medio, carga total de la red, encabezado IP, del TCP y probabilidades de error, esquemas de modulación. La Figura 4.2 muestra lo anteriormente expuesto, en un escenario donde la única variable es la carga, el Throughput no aumenta de manera lineal hasta alcanzar la capacidad del canal, sino que crece hasta que cierta carga de tráfico es alcanzada (carga óptima) luego decrecerá a medida que la carga se excede.

En las redes WCDMA a partir del release 5 fue introducido una nueva característica conocida como HSDPA (High Speed Downlink Packet Access), y a partir del release 6 otra llamada HSUPA (High Speed Uplink Packet Access). El objetivo primario de ambos es aumentar el Throughput, tanto en DL como en UL, mediante el uso de técnicas como adaptación de enlace y rápida transmisión y combinación en la capa física L1. Dadas estas nuevas características, nuevos canales fueron añadidos para poder garantizar el aumento del Throughput que suponen, tales como el HS-DSCH.

PS y HS son términos altamente empleados los cuales indican, en el caso de PS un servicio de datos en redes WCDMA en donde solo se emplean los canales propios de los Release 99 hasta release 4, y HS hace referencia a un servicio de datos también, con la diferencia que en este se emplean además canales propios del así llamado HSPA (High Speed Packet Access) que se encuentran en los releases 5 en adelante.

4.2 Modulación

En un sistema de comunicación cual sea, la señal mensaje, la cual es una señal analógica, puede ser transformada ya sea en su amplitud, fase o frecuencia por medio de otra señal portadora con el objeto de expandir el ancho de banda de la señal para ganar inmunidad al ruido, por ejemplo. A este proceso de transformación se le llama modulación.

En sistemas de comunicación actuales, la señal analógica previa a ser transmitida es mapeada a una señal digital, y es hasta entonces que dicha señal es modulada por algún método de modulación según las características del sistema.

Los esquemas de modulación usados en sistemas de comunicación inalámbricos en redes celulares de tercera generación son QPSK (Rel 99), 16-QAM (Rel 5) y 64-QAM (Rel 7) [15, pp. 50,51]

Una de las claves principales de la operación de HSDPA es el uso de formas adicionales de modulación. Originalmente en WCDMA solo se usaba QPSK, sin embargo con HSDPA y el uso de 16-QAM se pudo obtener mayores velocidades de transmisión al aumentar el número de bits transmitidos por símbolo [5, pp. 358,359]. Pero con el uso de esquemas de modulación de orden mayor surgen ciertas limitaciones, como menos robustez contra el ruido, necesidad de uso de estimación por amplitud para separar los puntos de la constelación, y aún más precisión en la información de fase dado que los puntos de la constelación están más cerca los unos de otros comparado a QPSK. De igual manera aumentan las velocidades de transmisión y las limitaciones cuando se da el uso de 64-QAM.

4.3 Release 99 WCDMA

La técnica WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) es la forma de acceso al medio usada en redes 3G desde que fue publicado el Release 99. Esta técnica ocupa un ancho de banda de 5Mhz, todos los usuarios ocupan la misma frecuencia y transmiten al mismo tiempo, divididos por un código diferente cada uno.

WCDMA necesita poseer muchas funciones para poder ser capaz de controlar la red y sus usuarios. Algunas de las funciones se describen a continuación:

Control de potencia (Power control) este se encarga de controlar la potencia entre el transmisor (UE) y la estación base (Nodo B). El objetivo es disminuir la interferencia y permitir más usuarios en la misma frecuencia. El control de potencia es ocupado tanto en el Downlink como en el Uplink para asegurar un buen rendimiento. El objetivo principal del control de potencia es de mejorar la calidad a través del tiempo regulando la potencia que recibe el nodo B de todos los dispositivos conectados independientemente de la distancia que se encuentren de este.

Un efecto del control de potencia es el llamado “cell Breathing”, se produce un trade off entre cobertura y capacidad, esto quiere decir que la cobertura de la celda va a variar en dependencia del número de usuarios que se encuentren conectados. De manera que con un mínimo de usuarios conectados, todos pueden lograr tener una buena calidad de servicio incluso si no se encuentran cerca del nodo B, mientras que una gran cantidad de usuarios crean un nivel de interferencia alto, teniendo que estar los usuarios cerca del nodo B para poder tener buena calidad.

Soft y Softer handover este se encarga de mantener la movilidad y calidad a lo largo de la red para un usuario. Más información en sección 3.2.

Admission control es el algoritmo que permite evitar una reducción del “cell Breathing” y también evitar sobrecarga en el sistema. La interferencia siempre va a aumentar cuando se permite una nueva llamada y para prevenir que decrezca la cobertura cuando la interferencia aumenta se utiliza el “admission control”.

Congestion Control, incluso con el admission control el sistema puede estar sobrecargado, esto es causado principalmente por usuarios que se mueven de un área a otra. El algoritmo de congestión es activado cuando el umbral de congestión es sobrepasado. Este tiene cuatro pasos para liberar la congestión que se encuentra en la celda. Lo primero es disminuir la velocidad de conexión de servicios que aumentan el Delay. Segundo si eso no funciona es interfrequency handover, es decir cambiar usuarios de frecuencias congestionadas a otras menos cargadas. El tercer paso es mandar usuarios a GSM y por último recurso sería eliminar conexiones de usuarios para mantener la calidad [16, pp. 2,3].

El release 99 tuvo varios métodos para la transmisión de datos en DL. Hubo tres tipos diferentes de canales para la transmisión los cuales eran:

Dedicated Channel (DCH)

Downlink -shared Channel (DSCH)

Forward access Channel (FACH)

El DCH básicamente es el canal en el cual se podía usar para cualquier tipo de servicio, con un SF variable puede también tener varias velocidades de transmisión dependiendo de la cantidad de datos que necesiten ser enviados. La velocidad más baja de transmisión es 64Kbps.

A partir del Release 5 el DSCH fue retirado del estándar 3G porque la 3GPP reconoció que era mucho mejor HSDPA.

El canal de transporte que se comparte entre todos los usuarios es el FACH mapeado en el secondary common control physical channel (S-CCPCH) puede ser usado para transferencias de datos en DL, con bajas velocidades de transmisión teniendo como máximo 32 Kbps compartido entre todos los usuarios de la celda. Trabaja con SF fijo y típicamente a altos niveles de potencia para que llegue a todos los usuarios de la celda. Es decir no tiene fast power control, y tampoco posee Soft HO [5, p. 354].

4.4 HSDPA

La inclusión de HSDPA en los sistemas WCDMA tiene por propósito principal incrementar el máximo Throughput alcanzable. El canal de transporte usado para las operaciones con HSDPA es llamado High-Speed Downlink-Shared Channel (HS-DSCH). Una comparación entre los canales DCH y HS-DSCH se muestra en la siguiente figura:

Con la inclusión de HSDPA, dos características presentes en WCDMA, las cuales son SF variable y Fast Power Control, fueron deshabilitadas y reemplazadas por AMC (Adaptive Modulation and Coding), extensas operaciones de multi-código, y estrategias de retransmisión espectralmente eficiente.

En WCDMA el control de potencia se da en el orden de 20 dB, pero esta función está limitada por la interferencia entre usuarios. Con el control de potencia para los usuarios cercanos al Nodo B no puede reducir la potencia al máximo porque al hacerlo se afecta la capacidad. Mientras que con HSDPA, este control está a cargo de la adaptación de enlace y AMC con los cuales se selecciona la codificación y modulación requerida basada en el E_c/I_0 , que para usuarios cercanos al nodo es mayor. Para permitir la adaptación de enlace en HSDPA y mantener buena eficiencia espectral un usuario usa hasta 15 multi-códigos simultáneamente en paralelo. El uso de codificación más robusta y operaciones multi-código remueven la necesidad de SF variable. [5, p. 354]

El bit rate pico con R10 es 168 Mbps con 4 carrier. Pero hay muchas maneras de aumentar estas velocidades teóricamente las cuales son: aumentar el ancho de banda, usar un esquema de modulación mayor y el uso de MIMO. [5, p. 442]

Al aumentar el esquema de modulación se obtiene mayor vulnerabilidad al ruido y a las interferencias [2, p. 195]. Esto puede observarse en la Figura 4.3, donde mayor E_b/N_0 es requerido para mantener un mismo BER para esquemas de modulación diferentes. Se puede apreciar esta diferencia en la Figura 4.3 donde se muestra la probabilidad de error para diferentes valores de E_b/N_0 . En la construcción de la gráfica se usan las ecuaciones para determinar la probabilidad de bits erróneos, P_b , caso de QPSK está dada por:

Feature	DCH	HS-DSCH
Soft handover	Yes	No
Fast power control	Yes	No
AMC	No	Yes
Multi-code operation	Yes	Yes, extended
Fast L1 Hybrid ARQ (HARQ)	No	Yes
BTS scheduling	No	Yes

Tabla 4.1 Comparación propiedades fundamentales de DCH y HS-DSCH.

$$0.5 \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \right) \quad (\text{Ec. 4.2})$$

Y en el caso de las modulaciones M-QAM (donde $M = 2^m$):

$$\frac{2}{m} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}} \right) \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{3mE_b}{2(M-1)N_0}} \right) \quad (\text{Ec. 4.3})$$

El esquema 16QAM duplica el bit rate de QPSK transmitiendo 4 bits en vez de 2 por cada símbolo. 64 QAM puede incrementar el bit rate pico hasta 50% comparada a 16QAM puesto que se transmiten 6 bits por cada símbolo. Sin embargo, los puntos en las constelaciones son cada vez más próximos unos de otros a medida que el esquema de modulación incrementa, y por ello es necesaria una relación señal a ruido mucho mayor para una correcta recepción. Es por esto que esquemas de modulación más complejos como 16QAM y 64QAM solo pueden ser usados cuando las condiciones RF y del canal son favorables.

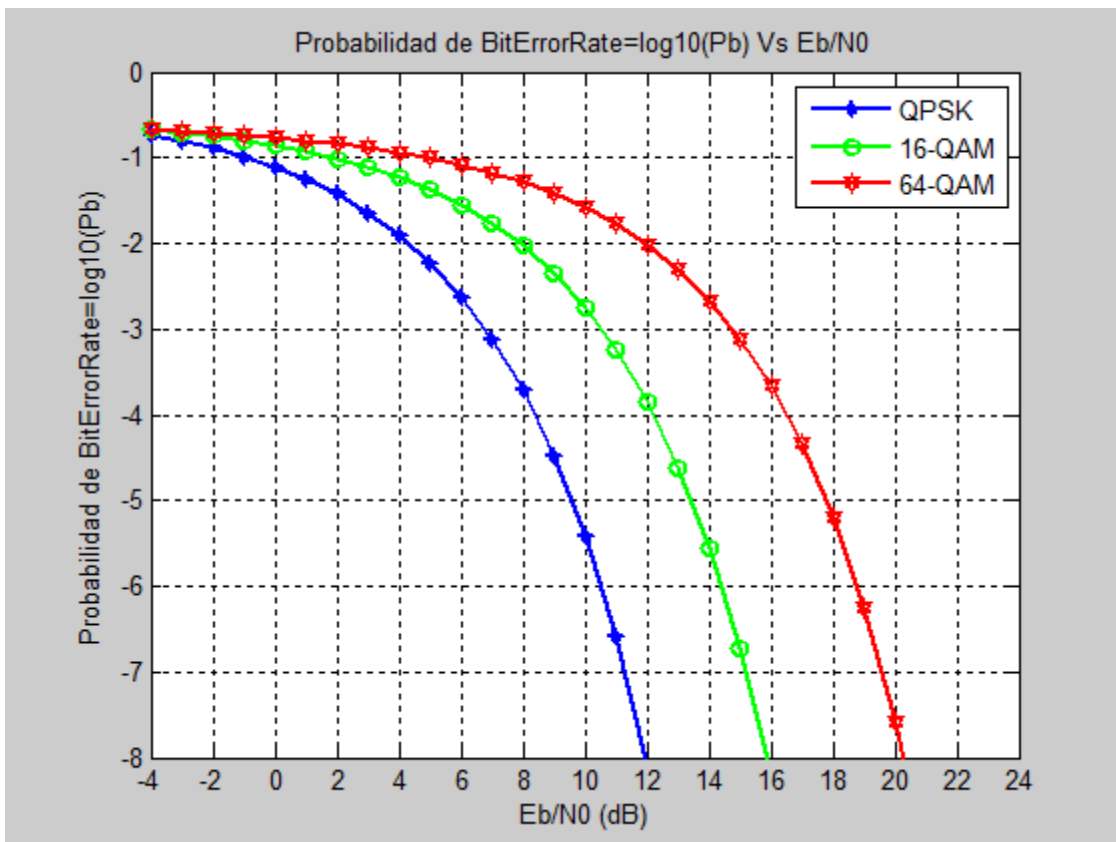


Figura 4.3 Eb/No vs BER en un canal AWGN.

Para el uso de HSDPA fueron introducidos tres nuevos canales en las especificaciones de la capa física:

HS-DSCH (High Speed Downlink Shared Channel) que lleva la transmisión de datos del usuario en DL.

HS-SCCH (High Speed Shared Control Channel) lleva la información de control del canal físico que es necesaria para habilitar la decodificación de los datos en HS-DSCH y ejecutar la combinación de los datos enviados en HS-DSCH en caso de retransmisión o paquetes erróneos.

HS-DPCCH (Uplink High Speed Dedicated Physical Control Channel) lleva la información de control necesaria en UL, conocido como reconocimientos ARQ, e información de retroalimentación de la calidad en DL.

4.5 Conmutación de Canales de Transporte

El algoritmo para control de congestión (Congestion Control) es usado para resolver la sobrecarga en el uplink y downlink. Para esto se ocupan mediciones de potencia y RSSI. En caso de sobrecarga el control de congestión reduce el bit rate (velocidad de transmisión) de conexiones existentes o como segunda opción remueve conexiones existentes. Cuando la carga de la celda incrementa debido a requerimientos de potencia, como por ejemplo porque un UE esta alejándose del Nodo B, cuando esta carga sobrepasa un límite el Nodo B debe hacer una conmutación de canales de transporte y dejar al usuario en canales comunes (DCH) con Velocidades de transmisión más bajas.

Hay dos estados en el estado conectado: el estado dedicado (CellDCH) y estado común (Cell_FACH). Están asociados con los canales de transporte en el cual el usuario está enviando información. El modo de conmutación de canales es activado en el estado de conectado y conmuta entre ambos estados y el modo idle.

El intercambio de canales se da sólo entre canales de transporte. Los canales lógicos no son afectados. Cuando grandes cantidades de datos están siendo enviadas y recibidas, se utiliza el canal de transporte DCH con varias velocidades en el Downlink y Uplink, ver Figura 4.4. Además se encuentran los canales el HS-DSCH disponible en el Downlink a como el E-DCH está disponible en el Uplink, ambos dependiendo del UE y la capacidad de la celda.

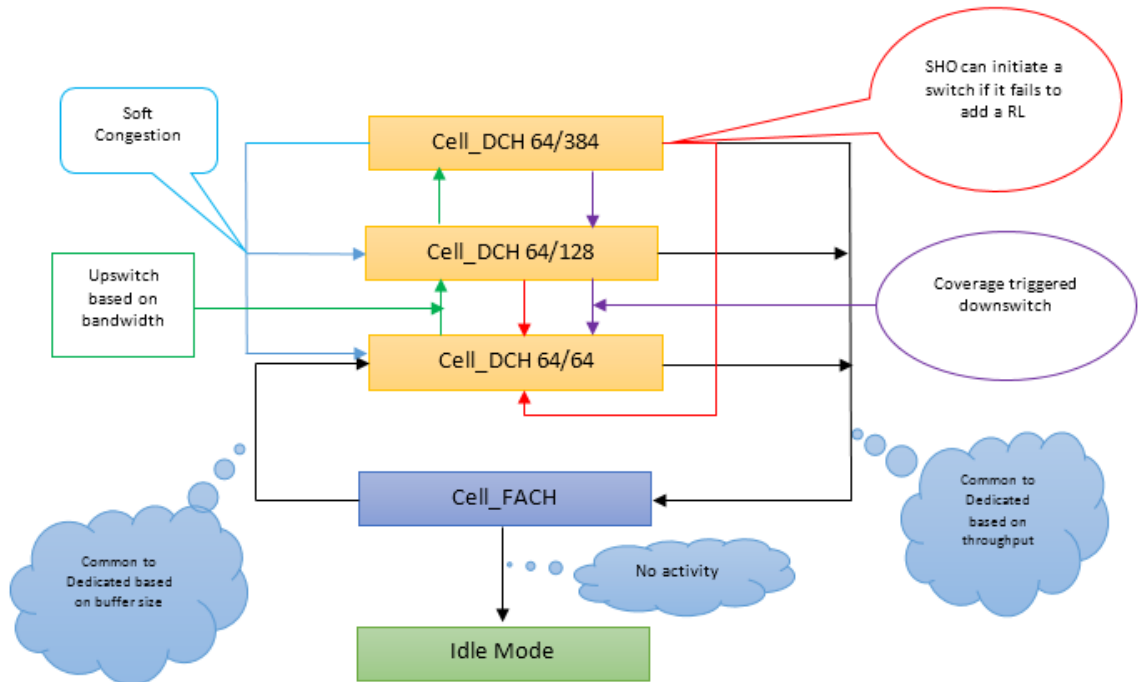


Figura 4.4 Intercambio de Canales en WCDMA.

Para pequeñas cantidades de datos, los canales comunes de transporte RACH y FACH son utilizados. Siendo para el Downlink un máximo de 32kbps que es compartido por todo los usuarios en la celda. [2, pp. 183,184]

4.6 Throughput Análisis.

En una red 3G el tráfico está compuesto por conexiones de HSPA y DCH R99 compartiendo recursos en una misma celda. En la Figura 4.5 se muestra la distribución de potencia en una celda.

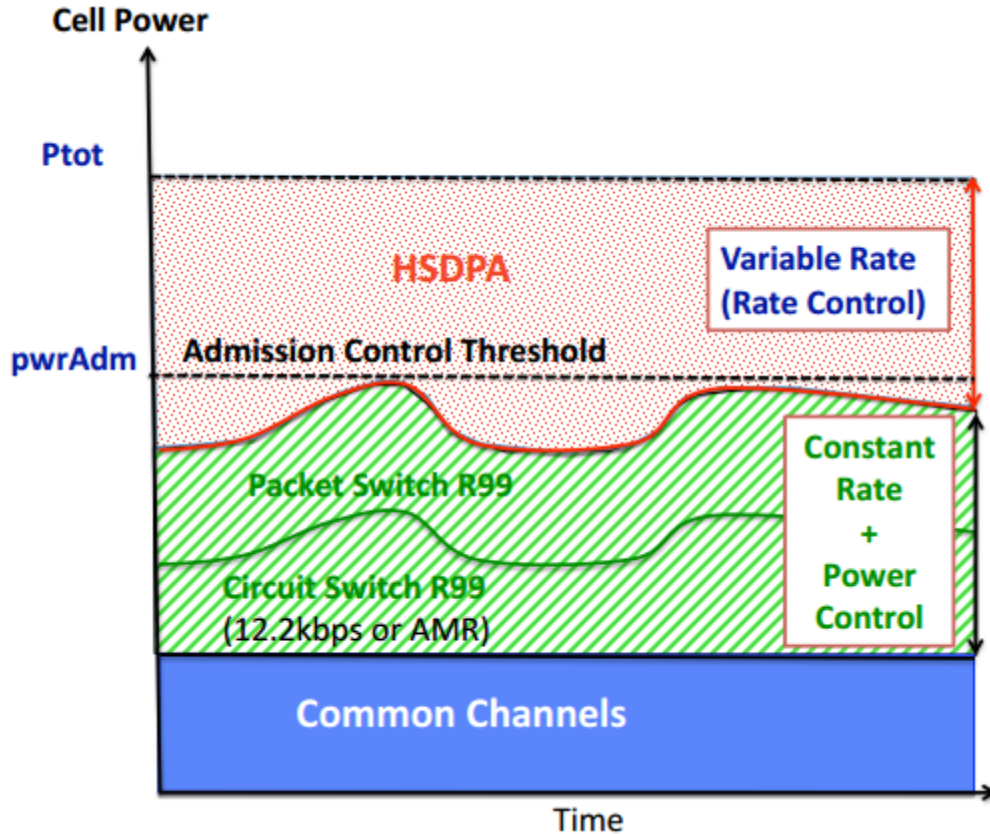


Figura 4.5 Distribución de potencia en celda. (Tomado de [17]).

En la imagen se puede observar el consumo de potencia de canales comunes (CCH) y dedicados (DCH, Packet Switch R99), el restante de la potencia hasta el valor configurado por el parámetro Admission control Threshold es utilizada para conexiones en HSPA.

La cantidad de potencia para HSPA transmitida puede ser controlada. En sistemas Ericsson esto se realiza mediante la configuración del parámetro del umbral de potencia de conexiones que no son destinadas para HSDPA llamado *pwrAdm* (*power admission*).

Adicionalmente, de la Figura 5 se puede observar la siguiente relación en forma de la ecuación 4,

$$P_{tot,j} = P_j^{CCH} + P_j^{DCH} + P_j^{HS} \quad (\text{Ec. 4.4})$$

en donde, la potencia total de una celda cualquiera *j* es la suma de la potencia usada en canales comunes, dedicados y HSPA.

Como se ha expresado anteriormente en este documento la capacidad está relacionada con el SNR por ende de igual manera el throughput se ve afectado por el ruido, pero también por la interferencia SINR (o sea Signal to Interference plus Noise Ratio SINR).

El SINR en DCH,

$$SINR_{ji} = SF \times \frac{P_{ji}}{I_{inter,i} + I_{intra,i} + N_0} \quad (\text{Ec. 4.5})$$

Donde, N_0 es la potencia de ruido térmico, asumiendo una ganancia de 0 dBi en la antena del UE, $I_{inter,i}$ es la interferencia intercell recibida por parte de otras celdas y la $I_{intra,i}$ es la interferencia intracell recibida.

El SINR en HSPA,

$$SINR_{ji}^{HS} = 16 \times \frac{P_j^{HS} - P_j^{HS-SCCH}}{P_{tot,j}[(1 - \alpha) + I]N_{HS}} \quad (\text{Ec. 4.6})$$

El N_{HS} es el número total de códigos HS-PDSCH usados en una celda con un 2ms TTI. Los códigos HS-PDSCH en sistemas Ericsson están limitados por los valores de los parámetros *maxNumHsPdschCodes* y *NumHsPdschCodes*. $P_j^{HS-SCCH}$ es la potencia total configurada para HS-SCCHs. I es la interferencia producto de la interacción de otras celdas con la celda servidora, pudiéndose referir a esta como *other-to-own Interference*.

El Throughput promedio en HSDPA puede ser calculado en base a la siguiente fórmula:

$$R = \frac{1}{N_S T} \sum_{i=1}^{N_S} \sum_{k=1}^{N_k} R_k^{(i)} T_k \quad (\text{Ec. 4.7})$$

Donde N_S es el número de usuarios en HSPA, T es el periodo de tiempo, $T_k = 2\text{ms}$ TTI, $N_k = [T/T_k]$, y R_k es la velocidad de canal programada durante TTI por usuario i .

Con estas ecuaciones nos permiten ver que el Throughput en HSDPA se ve afectado por la potencia disponible para HSDPA, el número de usuarios, los códigos HS-PDSCH y la other-to-own interference. Por consiguiente en la tarea de optimización día a día uno de los factores a tratar para lograr una mejora en el desempeño del Throughput es el other-to-own interference. Esta interferencia puede aumentar para una celda en casos donde existen un pobre diseño de red o configuraciones físicas inapropiadas [17, pp. 2,3]

4.7 Contadores Estadísticos para Throughput

Para el monitoreo del Throughput se emplean contadores estadísticos, y al igual que se menciona en los dos capítulos previos estos son colectados mediante la base de Datos del sistema ubicada en el Core, que en Ericsson Systems es denominado ENIQ. Los contadores principales para tal monitoreo para la versión W11 son los siguientes:

HS Average Throughput;

$$P_{int}HS_I_TP(Rncfunction) = 8 * 1000 \frac{(pmSentPacketDataHs3(RncFunction) + pmSentPacketDataHs4(RncFunction))}{pmTotalPacketDurationHs3(RncFunction) + pmTotalPacketDurationHs4(RncFunction)} \quad (Ec. 4.8)$$

HS User Throughput;

$$P_{int}HS_I_DlTp_User(UtranCell) = \frac{pmSumHsDl RlcUserPacketThp(UtranCell)}{pmSamplesHsDl RlcUserPacketThp(UtranCell)} \quad (Ec. 4.9)$$

HS EUL User Throughput;

$$P_{int}EUL_I_DlTp_User(UtranCell) = \frac{pmSumEulDl RlcUserPacketThp(UtranCell)}{pmSamplesEulDl RlcUserPacketThp(UtranCell)} \quad (Ec. 4.10)$$

Se muestra la ecuación 7 con el fin de mostrar los contadores más representativos del KPI Throughput pero HS EUL no es abordado a lo largo de este documento porque se centró en el Downlink principalmente que es donde se genera el mayor tráfico de datos. [8, pp. 25,26]

4.8 Casos de Estudio.

4.8.1 Caso de estudio de Impacto de Second Carrier en Throughput.

En este escenario (Figura 4.6) se muestra una simulación de Throughput promedio por celda que puede ser ofertado por un sitio, es mostrado con una sola portadora, con dos portadoras en frecuencias diferentes y finalmente con ambas portadoras operando simultáneamente. El escenario comprende una simulación de usuarios, con UE categoría 14, asumiendo que los usuarios son peatones, con una distribución de 400 usuarios/Km² para cada uno de los dos tipos de usuarios asumidos, usuario promedio y usuario de negocios.

Para la simulación fueron asumidos en los tres escenarios un número de usuarios igual, siendo la única variable las portadoras para ver como el uso de dos portadoras afecta el Throughput máximo que puede ser ofrecido por un sitio.

A como se observa en la Figura 4.6 la imagen de la esquina superior izquierda muestra un sitio operando con una sola portadora en la banda de 850 MHz, en el cual el máximo Throughput alcanzado es aproximadamente a 5000 Kbps en las zonas más cercanas al sitio, con una potencia máxima de radiación de 40W. En la misma figura 4.6 la imagen de la esquina superior derecha muestra el mismo sitio, pero esta vez operando con una portadora en la banda de 1900 MHz, alcanzando aproximadamente como máximo Throughput 8000 Kbps y siendo casi nula la presencia de cobertura con Throughput alrededor de 500 Kbps, esto con la potencia máxima configurada en 40W. Finalmente en la imagen de la parte inferior izquierda se aprecia el sitio operando con ambas portadoras simultáneamente y se ve que es posible alcanzar niveles de Throughput de hasta 10000 Kbps y menos muestras con niveles por debajo de 1000 Kbps, ambas portadoras con la potencia máxima a 40 W.

En la Figura 4.7 se resume estadísticamente el comportamiento observado en la figura 4.6, en donde se grafica el porcentaje de muestras correspondientes a cada nivel de Throughput para los escenarios con una sola portadora (ya sea en 850 o 1900 MHz) y dos portadoras.

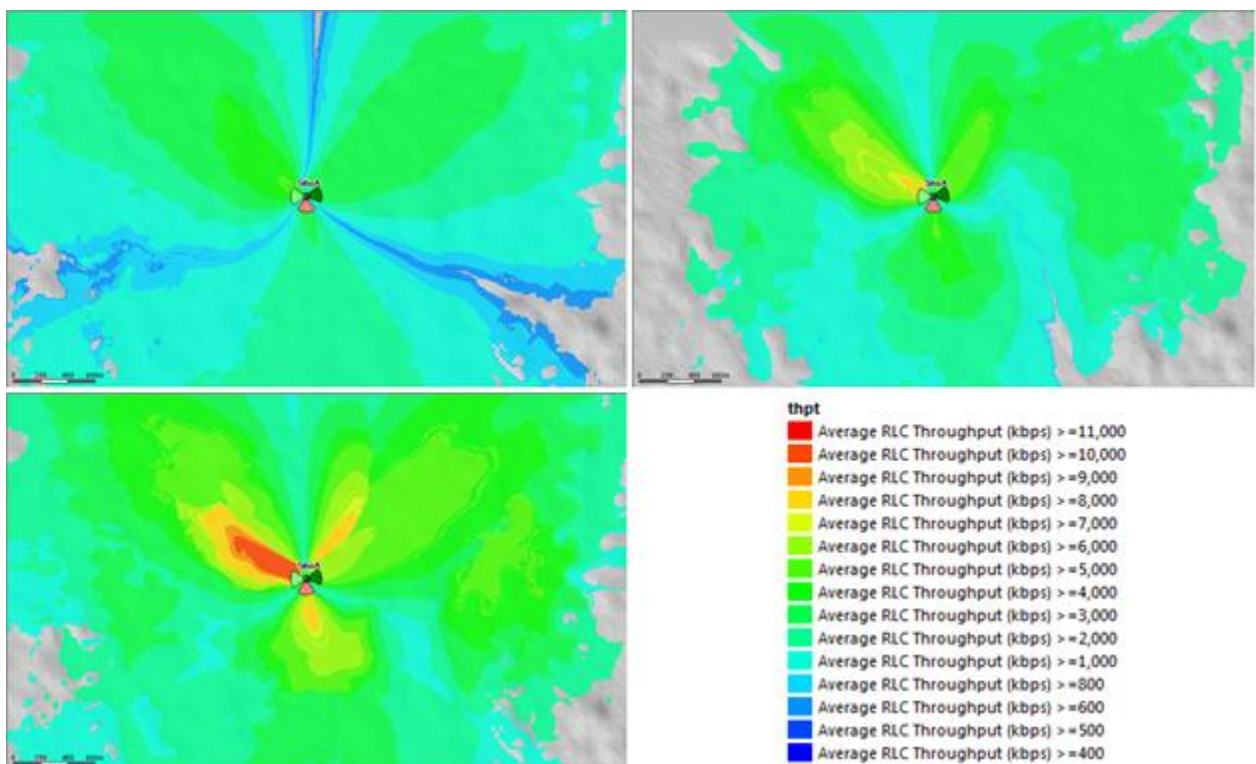


Figura 4.6 Simulación de Throughput por celda para un Sitio con diferentes portadoras.

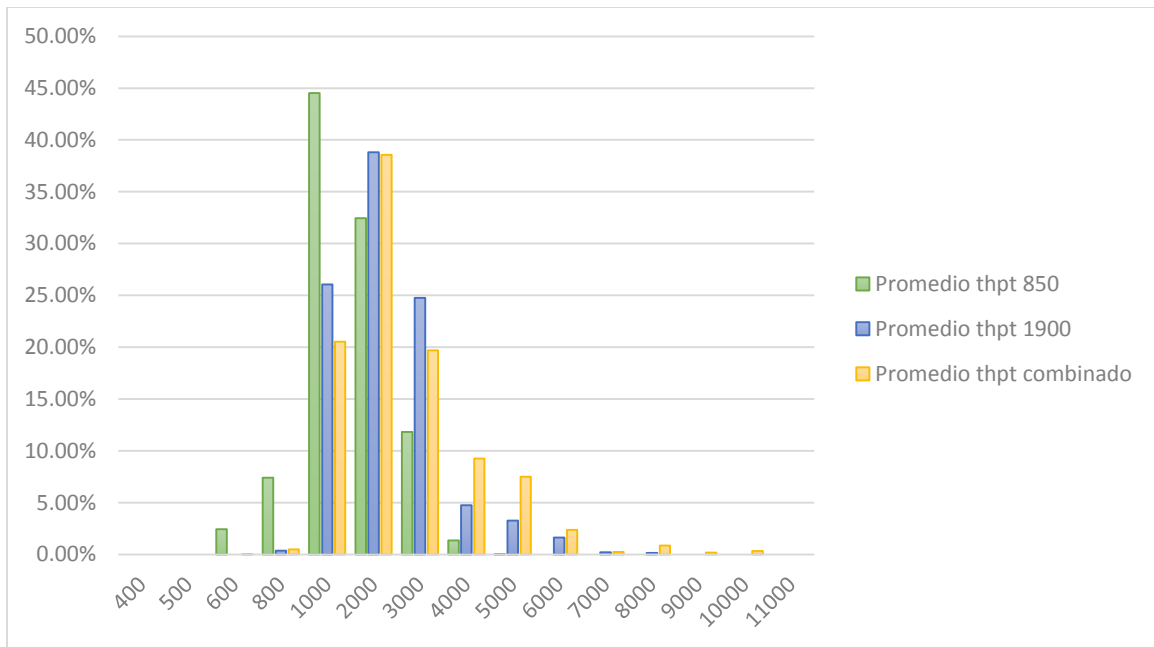


Figura 4.7 Impacto de second carrier en THPT.

La Figura 4.7 muestra los resultados del caso de estudio y se interpreta de la siguiente manera: hay tres gráficas asociadas para las tres simulaciones de Throughput, operando en 850 MHz, en 1900 MHz, y en ambas simultáneamente (verde, azul y amarillo los colores respectivamente); en el eje horizontal se muestran niveles de Throughput desde 400 kbps hasta 11000 kbps; el eje vertical corresponde al porcentaje de muestras que se obtuvieron sobre el total de muestras correspondientes para cada simulación; así puede observarse que aproximadamente el 45% de las muestras de la simulación en 850 MHz están contenidas en velocidades alrededor de 1000 Kbps, y no hay muestras en los rangos de 6000 kbps en adelante, al contrario en el caso de 1900 MHz las muestras están un poco más dispersas y alcanzan como máximo 8000 kbps, y finalmente con el uso de ambas portadoras no solo se consigue mayor concentración de las muestras en rangos altos como en 4000 kbps en adelante, sino que también se obtienen muestras que alcanzan las velocidades de 10000 kbps.

4.8.2 Caso de estudio sobre Interferencia de otras celdas hacia la celda servidora.

En este escenario se muestra como la propagación de un Sitio no configurada debidamente afecta en el desempeño de Throughput de otros sitios, ver figura 4.8.

En la Figura 4.8, la esquina superior izquierda se muestra la propagación del Sitio A, la esquina superior derecha la propagación del Sitio B, en la cual se puede observar como esta sobre propagando sobre el sitio A, cubriéndola con niveles RSCP CPICH de entre -60 y -70. En la esquina inferior izquierda se observa los niveles de E_c/N_0 . Y en la esquina inferior derecha se puede ver la simulación de Throughput para ambas celdas en la cual se puede notar que el sitio A es más afectados con un Throughput menor en comparación al sitio B.

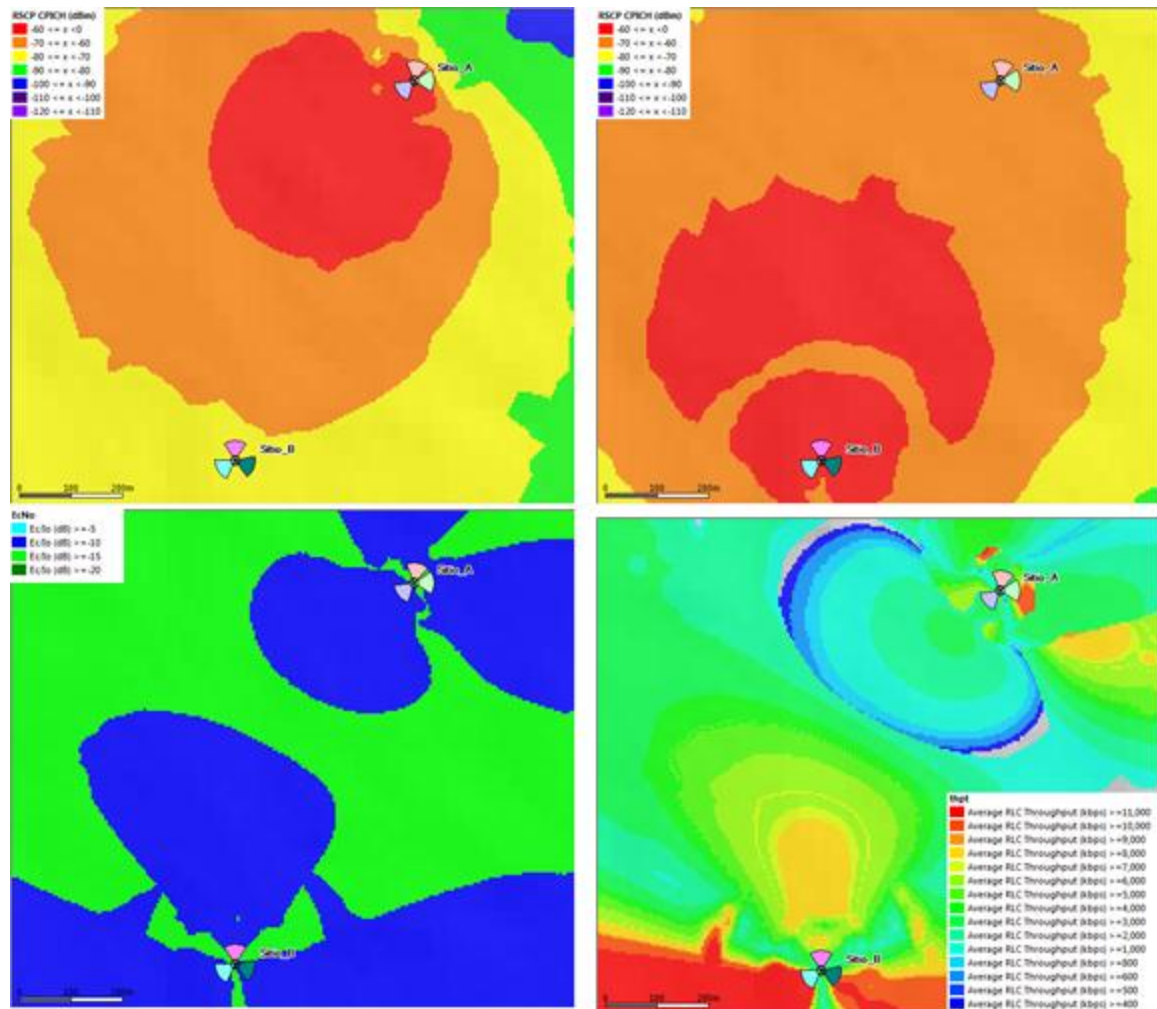


Figura 4.8 Interferencia Other-to-own.

Sitio	Sector	Antes					
		Tilt Eléctrico (°)	Tilt Mecánico (°)	Azimuth (°)	Altura (m)	Potencia CPICH (dBm)	Banda (MHz)
A	3	2	0	230	15	33	1900
B	1	2	0	0	31	33	1900
Sitio	Sector	Después					
		Tilt Eléctrico (°)	Tilt Mecánico (°)	Azimuth (°)	Altura (m)	Potencia CPICH (dBm)	Banda (MHz)
A	3	5	0	230	15	33	1900
B	1	5	2	0	31	33	1900

Tabla 4.2 Configuración de sitios Antes y después de la optimización.

Para la resolución de este problema que afecta directamente al Sitio A se procedió a hacer ajustes físicos del tilt Eléctrico y mecánico. Ambos sitios se encontraban con configuraciones iguales a como se muestra en la tabla 4.2.

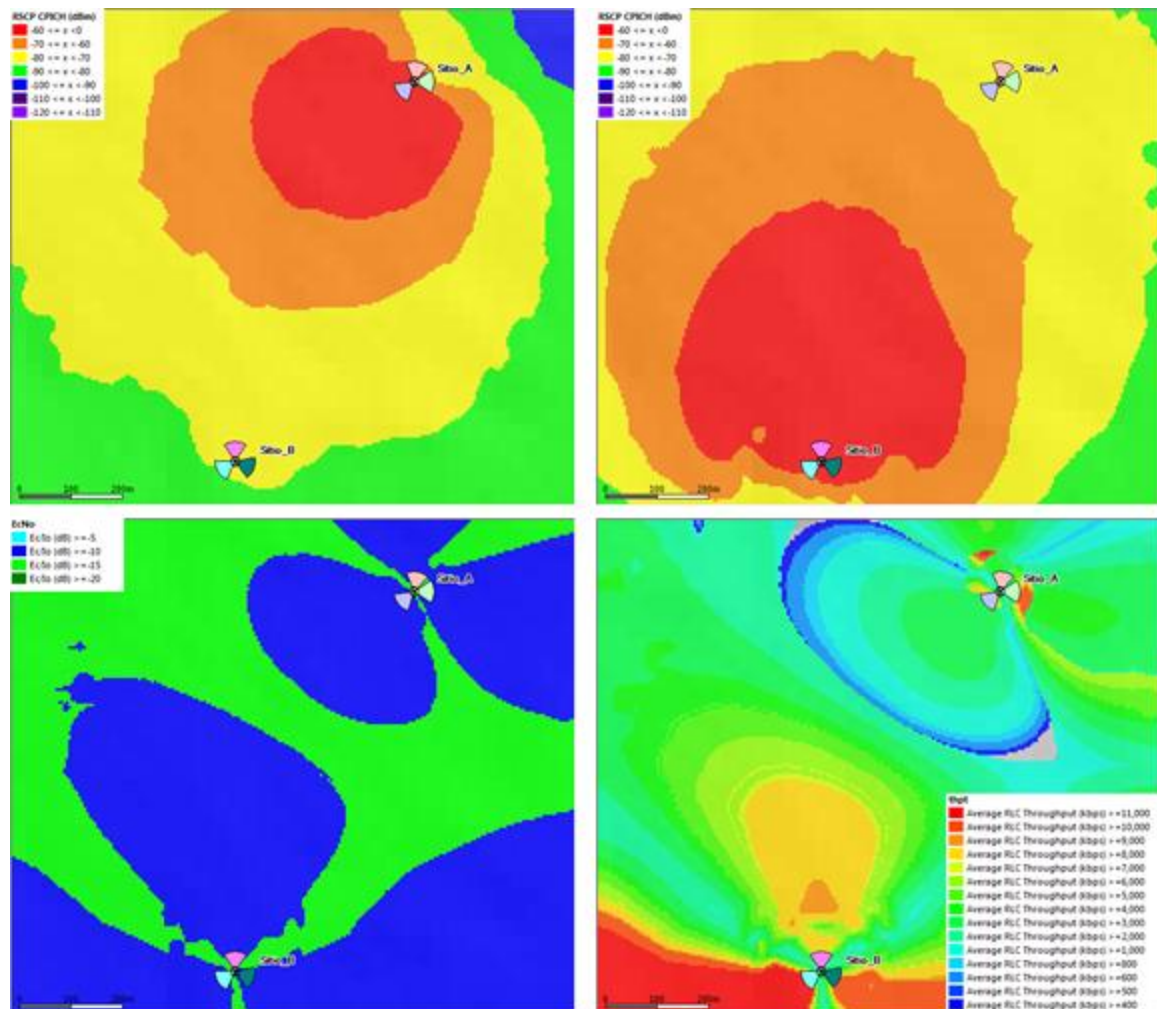


Figura 4.9 Simulación Other-to-own despues de cambios.

En la Figura 4.9, la parte superior muestra la propagación final de ambos sitios, en el cual se puede observar una gran diferencia con respecto a la propagación sobre el Sitio B (esquina superior izquierda) que se observa en la figura 4.8, el cual disminuye los niveles de señal RSCP CPICH que cubrían al Sitio A. Esto se debió a un ajuste físico, aumentando el Tilt eléctrico y mecánico de ambos sitios. Al disminuir la interferencia que ambas celdas se causaban, en la esquina inferior izquierda se logra apreciar un mejor desempeño en el THPT de las celdas I de ambos sitios afectadas principalmente, logrando conexiones en la celda del sitio B de hasta 9Mbps.

La Figura 4.10 presenta un resumen estadístico de los resultados del caso de estudio y dicha interpretación es similar a la de la Figura 4.7: hay dos gráficas asociadas para las dos simulaciones de Throughput, el primer escenario antes de cambios con la other-to-own interference presente y el segundo escenario luego de cambios mitigando la presencia de la interferencia (azul y naranja respectivamente); en el eje horizontal se muestran niveles de Throughput desde 400 kbps hasta 11000 kbps; el eje vertical corresponde al porcentaje de muestras que se obtuvieron sobre el total de muestras correspondientes para cada simulación; así podemos observar una significativa diferencia marcada en los niveles de Throughput de 8000 kbps, donde después de los cambios aplicados, por efecto de menor interferencia es posible alcanzarse muchas más muestras en dicho rango de niveles, es decir, una mejora del Throughput en la zona.

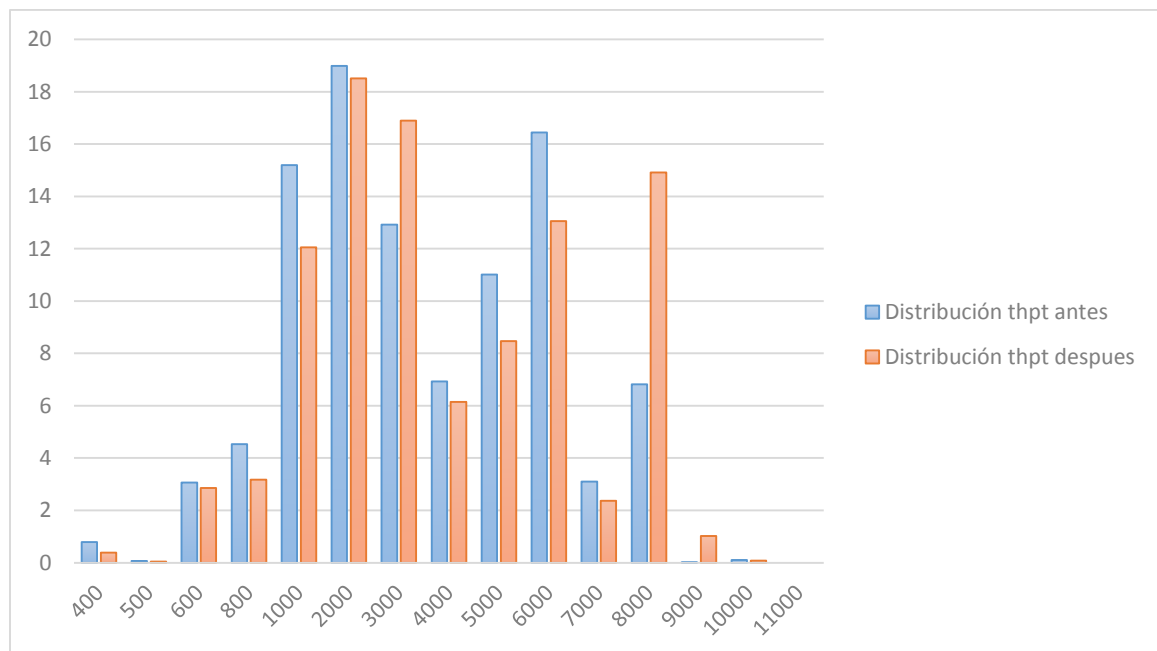


Figura 4.10 Mejora del Throughput tras disminución de la other-to-own interference.

4.8.3 Caso de estudio de rápido decaimiento de Throughput por planeación deficiente.

En este escenario se muestra como el crecimiento de usuarios impacta en el Throughput, degradando el rendimiento de este a niveles muy por debajo de los valores mínimos planteados por un operador. La información obtenida es de una red que está formada por 212 Nodos B (609 celdas con primera portadora y 30 con segunda portadora) utilizando Ericsson RBS 6001 en la frecuencia 1900 MHz.

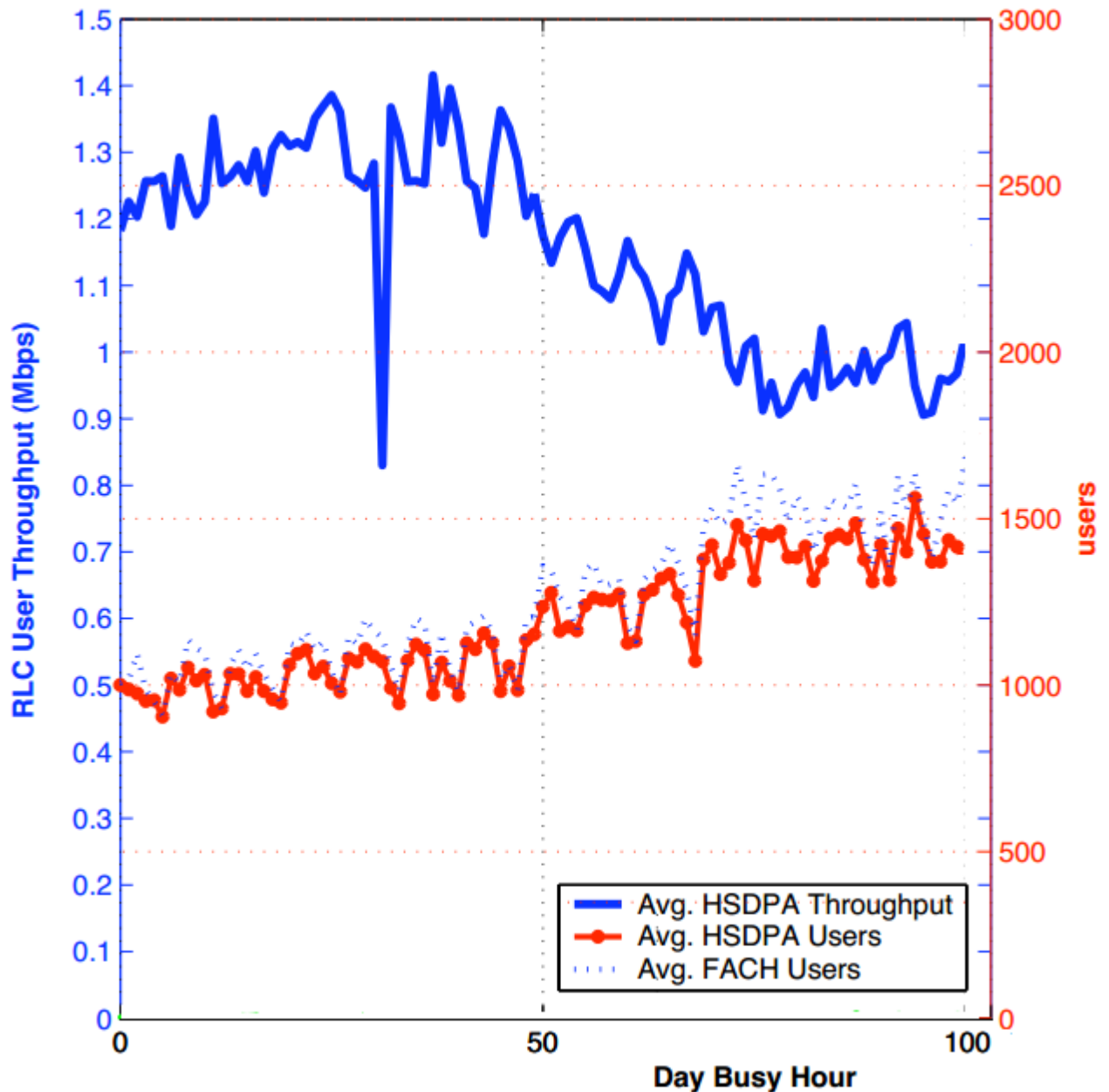


Figura 4.11 Impacto de usuarios en Throughput. (Tomado de [17]).

En la Figura 4.11 se muestra como el Throughput va decreciendo (azul) a medida que los usuarios (rojo) aumentan en la red. Al incrementar los usuarios aumenta la potencia que demandan estos además de la interferencia que causan en el Uplink.

En una red cuya carga en términos de usuarios aumenta es necesario mantener el funcionamiento de la misma de manera óptima para mitigar los efectos que supone este crecimiento. En este caso luego que el impacto en el Throughput era más que evidente se ejecutaron planes de optimización los cuales mitigan dicho efecto. Como se vio anteriormente la interferencia de una celda a otra es razón de disminución en los niveles de Throughput alcanzados, por ende se procedió con optimizaciones físicas en las celdas que componen la red eliminando la interferencia entre ellas.

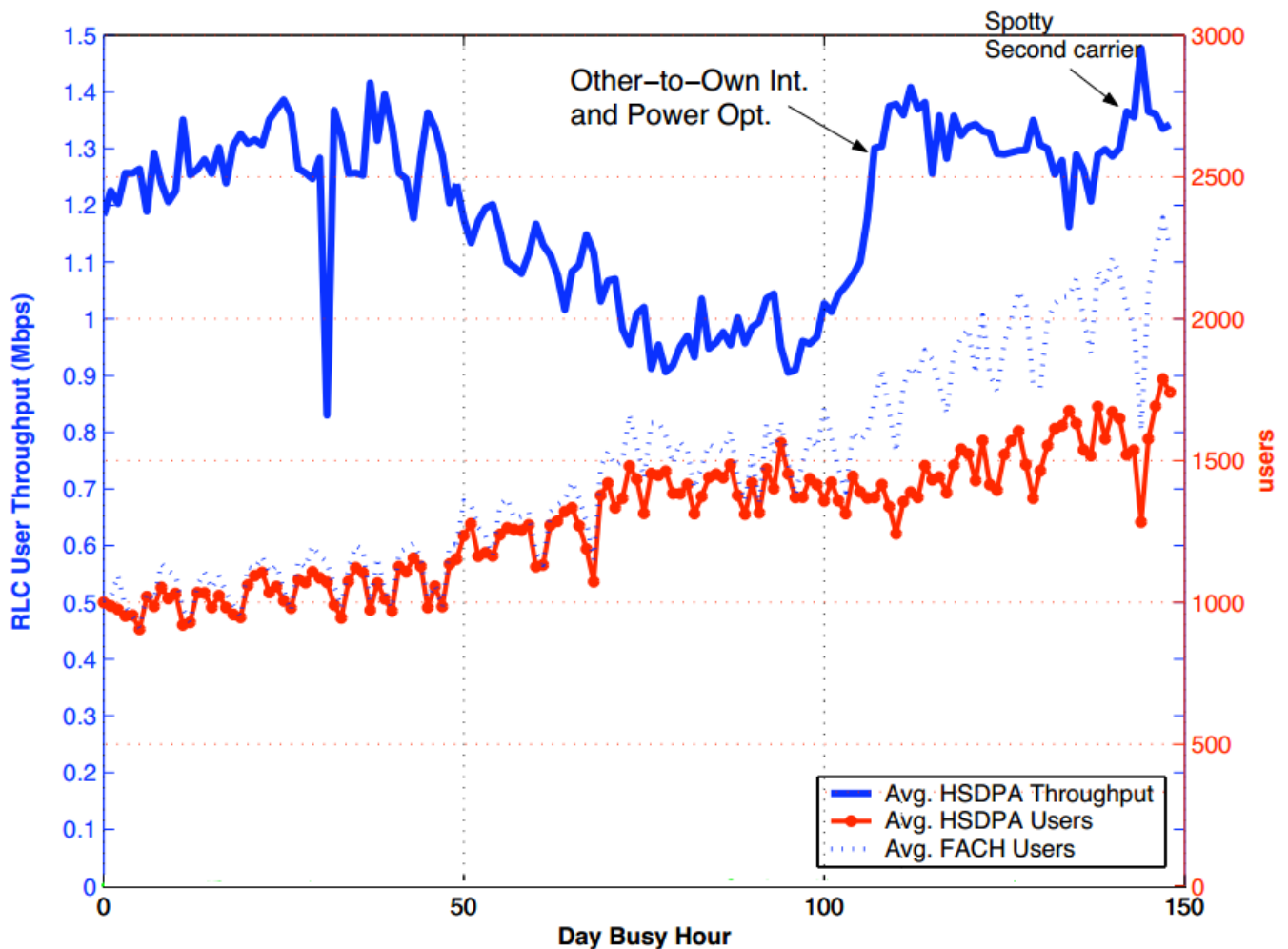


Figura 4.12 Ajuste de potencia y other to own interference. (Tomado de [17]).

Adicionalmente se condujo optimización en los parámetros de potencia en los cuales opera la red, para aumentar la potencia disponible para HSPA. Finalmente la inclusión de una segunda portadora, cuyos efectos también se vieron anteriormente en un caso de estudio, contribuyó al aumento del Throughput percibido. De la Figura 4.12 se puede observar que posterior a la optimización los niveles registrados superan a todos los niveles previos, incluso aquellos en donde la red trabajaba bajo la carga de pocos usuarios.

Resumen

En este capítulo se abordó el Throughput, que es el número de bits por segundo libres de errores. Este término suele ser confundido con Bandwidth que es la anchura del canal en términos de frecuencia. El Throughput está en dependencia de la carga de la celda y los parámetros configurados en esta, de manera que crece el Throughput a medida que la carga aumenta hasta un punto donde el efecto se invierte y más carga disminuye el Throughput.

En este punto la optimización es requerida para contrarrestar las causas que afectan directamente el Throughput, por ejemplo: interferencia entre celdas, falta de potencia para HSPA, sobrecarga de usuarios.

Las velocidades que cada UE pueda obtener va ir en dependencia de si conecta haciendo uso de canales R99 o HSPA. Pudiendo alcanzar con R99 velocidades máximas de descarga de 384 Kbps. Mientras que en HSPA va ir en dependencia del esquema de modulación y el arreglo de antenas que tenga el terminal siendo lo Máximo en descarga para R11 337 Mbps.

Se abordaron casos de estudio donde se observa la mejora en el Throughput aplicando una segunda portadora en la celda con bajo rendimiento, causando una mejora de un 25% en términos de velocidad máxima. En el segundo caso de estudio se trata con una zona en la cual dos celdas se afectan mutuamente causando interferencia una a otra y esto a su vez impactando en el desempeño de Throughput. Para solucionar este problema se aplican ajustes físicos en las celdas con mayor afectación y se obtienen mayores muestras de usuarios con velocidades altas. Y por último se analiza cómo el crecimiento de usuarios y configuraciones no óptimas causan que el Throughput en una celda decrezca. Aplicando optimización de potencia y ajustes físicos se logró subir el desempeño de la celda y alcanzar niveles superiores a los reportados históricamente.

Capítulo 5 Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

En el proceso de optimización de una red celular con fines de mejorar la calidad de servicio percibida por el usuario, quien es el factor principal de las comunicaciones como fuente y destino, es necesario tomar en cuenta ciertos indicadores que faciliten el análisis del desempeño de la red celular. A lo largo de este documento se han descrito los tres indicadores más relevantes, conocidos como KPI's (Key Performance Indicators) los cuales son: Accesibilidad, Retenibilidad y Throughput. Estos indicadores son descritos en este documento pues representan los KPI más importantes al momento de evaluar el desempeño de la red, ya sea por los operadores o el usuario mismo quien interactúa directamente con los servicios.

Los KPI's su desempeño es afectado por problemas en la red como: "Pilot Pollution", baja cobertura, "Missing Neighbors", incorrecta asignación de códigos, "Other to Own Interference", baja potencia para HSPA, acceso distante, incorrecta configuración de "Handover", fallas de hardware. En el estudio de estos problemas para encontrar su solución previamente se evalúan los contadores en la RNC, se realizan "Drive Test" en las zonas de bajo desempeño, auditorías físicas de los sitios involucrados, etc, estas actividades no se contemplan en este trabajo monográfico. A partir de los datos obtenidos en estas actividades se procede a su análisis mediante el uso del software adecuado, los cuales se emplean en dependencia de la información adquirida, estos pueden ser Microsoft Excel en el caso de monitoreo estadístico, Actix Analyzer para el estudio del "Drive Test" ejecutado, Atoll Forsk como herramienta de predicción en base a simulaciones definidas con los datos de auditorías actuales para los cambios a proponerse, Aexio Xeus como apoyo en la revisión de algunos parámetros lógicos de las celdas. Finalmente luego de este análisis, en el cual se centra este documento, se pueden ejecutar los cambios que ayudaran a aumentar el rendimiento de la red.

Fueron expuestos casos de estudio por cada KPI en el cual se lograron ver las mejoras que se obtienen en el desempeño de la red luego de los ajustes propuestos para la optimización, notándose que el proceso de optimización en una red activa es indispensable para mantener la eficiencia de su operación. Los problemas encontrados en la red son mayormente causados por una pobre planeación de red en sus inicios, o ya sea falta de seguimiento de la utilización de la capacidad de la red una vez en operación.

El primer KPI abordado es Accesibilidad del cual se introduce su concepto, siendo este la habilidad de un servicio de ser obtenido, con una tolerancia específica y otras condiciones dadas, cuando es solicitado por el usuario. Se abordaron conceptos relacionados al establecimiento de llamadas y el cambio de estado del móvil de reposo a activo en una llamada. También se señalaron las fallas de red que más afectan este KPI y se presentan tres casos de estudio. El primer caso se enfoca en como se ve una zona afectada con “Pilot Pollution” el cual es una causa de falla de acceso y la solución de este problema se encontró haciendo uso de simulaciones con Atoll para optimizar la cobertura de las celdas en la zona. El segundo caso de estudio muestra como la incorrecta asignación de vecinas afecta el acceso de una terminal, para solucionar este problema se verifican las vecindades con ayuda de Xeus y luego se identifica la vecindad a ser definida. El último caso de estudio en este capítulo expone el acceso distante de un UE con niveles de señal muy bajos, insuficiente para el inicio de servicio, la solución a este problema es la integración de un sitio nuevo cerca del lugar en donde existe baja cobertura.

El segundo KPI a tratar fue Retenibilidad, el capítulo e inicia con el concepto de este indicador, el cual es probabilidad que un servicio, una vez obtenido, continúe siendo proveído el tiempo deseado en condiciones determinadas, por ejemplo, en condiciones de desvanecimiento, interferencia cocanal, etc. A lo largo del capítulo se abordan más conceptos necesarios para comprender la movilidad en una red 3G y como se mantiene la llamada. Se finaliza con cinco casos de estudio que muestran algunos problemas que afectan este indicador. El primer caso muestra como la inapropiada definición del parámetro de “Inter Frequency Handover” genera caídas de llamadas en redes con más de una portadora y la solución a estas radica en una apropiada configuración del parámetro referido. El segundo caso presenta las “Missing Neighbors” como problema originario de llamadas caídas, se analiza un evento de caída producido precisamente por este problema el cual se resolverá estableciendo la relación de vecindad entre las celdas involucradas. El tercer caso de estudio pone en evidencia como la falta de continuidad en la cobertura es causante de eventos de caídas, siendo la solución en este caso la integración de nuevos sitios. El cuarto caso se centra en el problema que conlleva la incorrecta asignación de códigos en las celdas, a tal punto que la presencia de repeticiones del mismo Scrambling Code en celdas distantes pertenecientes a un segundo anillo provoca problemas a la retenibilidad. El quinto caso trata nuevamente la aparición de “Pilot Pollution”, solo que esta vez produciendo una caída de llamada, a diferencia del caso del capítulo anterior se emplea únicamente Actix Analyzer para identificar las razones de este problema así como su solución.

El último KPI a tratar fue Throughput, abordado en el capítulo IV: Análisis de desempeño de Throughput. En este capítulo se trata la diferencia entre Bandwidth y Throughput conceptos muy ambiguos en el ámbito de las telecomunicaciones. Además se tratan conceptos necesarios para evaluar este KPI. Al final del capítulo se exponen tres casos de estudios, el primero acerca del impacto de una segunda portadora en el Throughput por celda de un sitio, el cual según se observa en el escenario se encontraba con bajo desempeño, se simula el máximo Throughput que se podría obtener individualmente con cada portadora y finalmente el Throughput final con ambas portadoras, en esta última simulación se ve una notable mejora en el desempeño del sitio. El segundo caso de estudio trata la interferencia de otras celdas hacia la celda servidora, donde una celda con sobrepropagación afecta a su celda vecina, para su solución se efectuaron ajustes físicos al Sitio con sobrepropagación, evaluados en Atoll, y se muestra una gráfica final comparativa de la distribución de Throughput que se alcanza por celda antes y después de cambios. El último caso expuesto es acerca del rápido decrecimiento del Throughput por deficiente planeamiento, se muestran las gráficas del desempeño estadístico de una red en la que decrece el Throughput cuando el número de usuarios aumenta, revelando así la planeación deficiente, para concluir caso se muestra una gráfica con el desempeño de la red donde se observa una mejora considerable luego que se aplicaron ajustes físicos para reducir la interferencia, configuración de parámetros de potencia en los canales comunes para incrementar el umbral de potencia disponible en HSDPA en todos sitios de la red y aumentó la potencia de transmisión para compensar las pérdidas por feeder.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda considerar para futuros estudios abordar los demás KPI que forman parte de los indicadores que monitorea el operador para verificar el rendimiento de su red.

Es también recomendado realizar trabajos similares a este en donde se abarquen los indicadores más importantes de otras tecnologías en uso, tal caso es GSM en amplio uso actualmente y LTE que comienza a incursionar en nuestro país.

Es recomendable también en trabajos posteriores hacer énfasis en EUL - Enhanced Uplink. El cual adquiere mayor importancia con el paso del tiempo debido a la demanda creciente de mayores velocidades de subida, esto por parte de los usuarios como resultado de las tendencias en el uso del Internet.

Trabajos complementarios son recomendables en donde se enfoque a detalle en el uso de herramientas particulares, todas sus bondades y como emplearlas en cada aspecto, como es el caso de Xeus que es una herramienta con una versión de distribución gratuita y de gran ayuda en el análisis y optimización de redes celulares.

Otro trabajo complementario para entender a detalle el proceso de análisis y optimización es la elaboración de guías de laboratorio de las herramientas utilizadas en este trabajo, donde se traten las fallas que afectan a estos indicadores.

Creación de documentos en los que se hable específicamente de un indicador a la vez, en el cual se traten todos los conceptos involucrados para entenderlo y se expongan casos de estudios de cada falla que lo afectan.

Bibliografía

- [1] R. A. Española, 2001. [En línea]. Available: <http://buscon.rae.es/drae/srv/search?val=%F3ptimo>. [Último acceso: 04 2014].
- [2] Ericsson, "Ericsson WCDMA Radio Access Network Optimization", Kista, 2006.
- [3] ITU, «what is IMT-2000,» [En línea]. Available: : https://www.itu.int/osg/imt-project/docs/What_is_IMT2000-2.pdf. [Último acceso: 2014].
- [4] Ericsson, "Ericsson WCDMA/UMTS system overview", Kista, 2001.
- [5] H. Holma y A. Toskala, "WCDMA for UMTS-HSPA Evolution and LTE", Quinta ed., Finland: Wiley, 2010.
- [6] 3GPP, *TS 25.101*, 2014.
- [7] T. S. Rappaport, "*Wireless Communications: Principles and Practice*", Prentice Hall, 2002.
- [8] Ericsson, "Radio Network KPI WCDMA RAN", 2011.
- [9] Fox, Dave, "UMTS Signalling Flow Diagrams", 2001.
- [10] «telecomhall,» 20 mayo 2013. [En línea]. Available: <http://www.telecomhall.com/what-is-rrc-and-rab.aspx>.
- [11] 3GPP, *TS 25.331*, 1999.
- [12] Ericsson, "*Power Control WCDMA*", 2012.
- [13] Ericsson, "Handover WCDMA RAN", 2010.
- [14] P. Oppenheimer, "Top Down Network Design", Indianapolis: Cisco Press, 2011.
- [15] 3GPP, *TS 25.306*, 2105.
- [16] A. Hasselberg, "*The evolution of WCDMA and the 3rd generation Cellular communication systems*".
- [17] M. S. Garache, «"HSDPA User Throughput Improvement by Other-to-Own-Interference Reduction and Power Optimization",» Panama, 2014.

Anexos

Reporte de Eventos del UE (User Equipment)

Evento 1E: Una CPICH primaria llega a ser mejor que un umbral absoluto.

Evento 1F: Una CPICH Primaria llega a ser peor que un umbral absoluto.

Evento 2A: Cambio de mejor frecuencia.

Evento 2B: La calidad estimada de la frecuencia utilizada actualmente está por debajo de un cierto umbral y la calidad estimada de una frecuencia no utilizada está por encima de un cierto umbral. Inter-frequency HO.

Evento 2C: La calidad estimada de una frecuencia no utilizada está por encima de un cierto umbral.

Evento 2D: La calidad estimada de la frecuencia utilizada actualmente está por debajo de un cierto umbral. Se inicia el Compressed Mode para medir vecinas inter-frequency o vecinas GSM.

Evento 2E: La calidad estimada de una frecuencia no utilizada es inferior a un cierto umbral.

Evento 2F: La calidad estimada de la frecuencia utilizada actualmente está por encima de un determinado umbral. Se detiene el Compressed Mode y las mediciones inter-frequency o hacia GSM.

Evento 3A: La calidad estimada de la frecuencia UTRAN utilizada actualmente está por debajo de un cierto umbral y la calidad estimada del otro sistema está por encima de un cierto umbral. Handover hacia GSM.

Evento 3B: La calidad estimada de otro sistema está por debajo de un cierto umbral.

Evento 3C: La calidad estimada de otro sistema está por encima de un cierto umbral.

Evento 3D: Cambio de mejor celda en otro sistema.

Evento 4A: El Volumen de transporte de canal de tráfico se vuelve más grande que un umbral absoluto.

Evento 4B: El Volumen de transporte de canal de tráfico es menor que un umbral absoluto.

Evento 5A: Se supera un número predefinido de malos CRC.

Evento 6A: La potencia de transmisión del UE se vuelve mayor que un umbral absoluto. Iniciar el Compressed Mode.

Evento 6B: La potencia de transmisión del UE se hace menor que un umbral absoluto. Detener el Compressed Mode.

Evento 6C: La potencia de transmisión del UE alcanza su valor mínimo.

Evento 6D: La potencia de transmisión del UE alcanza su valor máximo.

Evento 6E: La RSSI del UE alcanza el rango dinámico del UE.

Evento 6F: La diferencia de tiempo entre la recepción y la transmisión del UE para un radioenlace del Active Set se hace mayor que un umbral absoluto.

Evento 6G: La diferencia de tiempo entre la recepción y la transmisión del UE para un radioenlace del Active Set se hace menor que un umbral absoluto.

Evento 7A: La posición de UE cambia más que un umbral absoluto.

Evento 7B: medición NTS-SFN cambia más de un umbral absoluto

Evento 7C: hora GPS y la hora SFN han distanciado más de un umbral absoluto